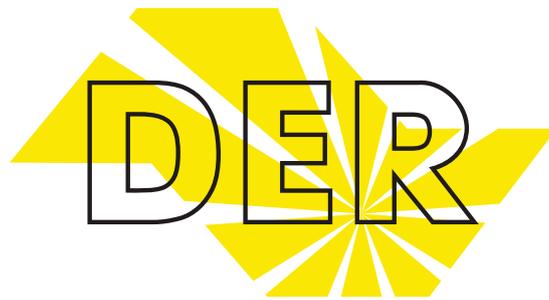




MANUAL DE
SEGURANÇA
VIÁRIA



MANUAL DE
SEGURANÇA
VIÁRIA

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE,
INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM

São Paulo
2023



Governador

Tarcísio Gomes de Freitas

**Secretaria de Meio Ambiente,
Infraestrutura e Logística**

Natália Resende

Superintendência

Sérgio Henrique Codelo Nascimento

Diretoria de Engenharia

José Carlos de Moraes Rodrigues Alves

Diretoria de Planejamento

Anderson Barboza Esteves

Diretoria de Administração

Benedita Aparecida de Siqueira

Diretoria de Operações

Deni Loretto Filho

Este Manual foi elaborado pelo DER/SP

ÓRGÃO FINANCIADOR

Este Manual integra o Programa de Investimento Rodoviário do Estado de São Paulo, financiado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento–BID.

COORDENAÇÃO

Coordenação da Unidade de Coordenação de Programas Rodoviários (UCPR)

Eng. Raphael do Amaral Campos Júnior

Supervisão Técnica

Eng. José Luiz Fuzaro Rodrigues

Apoio ao desenvolvimento do projeto

Consórcio EGIS-Planorp

Projeto Gráfico, Diagramação e Capa

Rita Motta / André L. Dias – Ed. Tribo da Ilha

Este manual também pode ser visualizado no site do DER/SP. Para acessá-lo, aponte a câmera do seu celular para o QR Code abaixo.



LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Custos médios dos acidentes (em R\$, em dez/2020)	102
Tabela 3.2: Custo de acidentes no estado de São Paulo, em 2019 e 2020	103
Tabela 5.1: Identificação das ocorrências ilustradas no exemplo de diagrama de acidente	152
Tabela 5.2: Exemplo de tabela utilizada na realização do diagnóstico por análise em tabela	158
Tabela 5.3: Exemplo de tabulação cruzada	159
Tabela 7.1: Largura das faixas de rolamento em tangentes (m)	226
Tabela 7.2: Largura dos acostamentos externos (m).....	226
Tabela 7.3: Largura dos acostamentos internos (m) pistas de mão única — Classes 0 ou IA.....	227

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Tipologia dos acidentes.....	88
Quadro 3.2: Equações dos indicadores de resultado.....	96
Quadro 3.3: Principais indicadores de resultado	97
Quadro 4.1: Fatores de risco associados à exposição ao tráfego.....	107
Quadro 4.2: Definição de fatores humanos, da via, do meio ambiente e do veículo.....	113
Quadro 4.3: Fatores de risco associados à via	120
Quadro 4.4: Principais fatores que influenciam a severidade dos acidentes.....	123
Quadro 4.5: Exemplo de Matriz de Haddon para identificação dos fatores de risco e fatores contribuintes	126
Quadro 5.1: Dados mínimos de acidentes que devem ser coletados, segundo o CADaS e RENAEST.....	137
Quadro 6.1: Diferenças entre a abordagem tradicional e a abordagem do Sistema Seguro na Segurança Viária.....	172
Quadro 6.2: Elementos a serem considerados em cada fase de projeto.....	174
Quadro 6.3: Classes das rodovias e suas principais características	175
Quadro 6.4: Recomendações a respeito da velocidade para aumentar a segurança nas rodovias	189

Quadro 6.5: Estratégias de gestão de tráfego	192
Quadro 8.1: Tipos de taludes de aterro	258
Quadro 8.2: Estruturas de drenagem	263
Quadro 9.3: Elementos de projeto de interseções	317
Quadro 10.1: Características de projeto e de controle de tráfego das travessias urbanas paulistas	326
Quadro 10.2: Principais problemas de Segurança Viária em travessias urbanas	331
Quadro 10.3: Soluções de Segurança Viária em travessias urbanas	334
Quadro 10.4: Critérios de projeto.....	336
Quadro 11.1: Usuários vulneráveis não motorizados	357
Quadro 12.1: Itens que devem ser avaliados na Auditoria de Segurança Viária em cada fase de projeto ou de implantação.....	386
Quadro 12.2: Vantagens e limitações das técnicas de abordagem proativa	395
Quadro 13.1: Contramedidas de Segurança Viária e efetividade esperada na redução do número de mortos e feridos graves.....	410
Quadro 14.1: Vida útil média de contramedidas de segurança.....	435
Quadro 14.2: Custos de implantação de contramedidas.....	441
Quadro 14.3: Principais métodos de avaliação econômica dos projetos de contramedidas	445
Quadro 14.4: Métodos de priorização de projetos de contramedidas.....	451
Quadro 14.5: Vantagens e desvantagens dos estudos de avaliação da efetividade	467
Quadro 17.1: Expectativa de efetividade de contramedidas implantadas.....	520
Quadro 17.2: Principais contramedidas para a redução de atropelamentos de pedestres	522
Quadro 17.3: Principais contramedidas para a redução de choques.....	527
Quadro 17.4: Principais contramedidas para a redução de colisões traseiras	530
Quadro 17.5: Principais contramedidas para a redução de colisões frontais	532
Quadro 17.6: Principais contramedidas para a redução de colisões laterais	535
Quadro 17.7: Principais contramedidas para a redução de tombamentos.....	537
Quadro 17.7: Principais contramedidas para a redução de tombamentos.....	537

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Índice de óbitos por 100 mil habitantes nas unidades federativas do Brasil (2019)	51
Figura 1.2: Fases da abordagem da Segurança Viária	56
Figura 2.1: Etapas do Gerenciamento da Segurança Viária	73
Figura 2.2: Abordagens reativa e proativa na Segurança Viária ao longo do ciclo de vida de um projeto	75
Figura 2.3: Etapas da análise sistêmica	80
Figura 3.1: Componentes dos custos dos acidentes	101
Figura 4.1: Fatores de risco e/ou contribuintes para os acidentes	114
Figura 4.2: Hierarquia da tarefa de dirigir	115
Figura 4.3: Mecanismo homeostático	128
Figura 5.1: Utilização dos dados no processo de Gerenciamento da Segurança Viária ..	135
Figura 5.2: Exemplo de diagrama de acidente	151
Figura 5.3: Exemplo de diagrama de condição	154
Figura 5.4: Exemplo de mapa de calor de óbitos e vítimas	156
Figura 5.5: Exemplo de mapa de concentração de acidentes com óbitos e vítimas	157
Figura 6.1: Pilares do Sistema Seguro	169

Figura 6.2: Condição na rodovia que pode confundir os usuários.....	185
Figura 7.1: Efeito da curva espiral de transição no traçado	199
Figura 7.2: Elementos de projeto tridimensionais resultantes da sobreposição de tangentes e curvas.....	209
Figura 7.3: Incompatibilidade entre o traçado e a topografia do terreno	211
Figura 7.4: Boa solução para coordenar os alinhamentos horizontal e vertical, adequando o traçado à topografia do terreno	211
Figura 7.5: Pontos cegos provocados por pequenas ondulações no greide em trechos em tangente	212
Figura 7.6: Pontos sombreados causados por pequenas ondulações no greide em trechos em tangente: situação inadequada <i>versus</i> boa prática	213
Figura 7.7: Quebra visual causada por descoordenação entre os vértices das curvas horizontais e verticais: situação inadequada <i>versus</i> boa prática	214
Figura 7.8: Porção não visível da via em curva horizontal com obstáculo na linha de visão	223
Figura 7.9: Porção não visível da via em curva horizontal com barreira central.....	223
Figura 7.10: Distância de visibilidade em curvas verticais	224
Figura 7.11: Acostamentos com pavimentos diferentes da pista de rolamento.....	228
Figura 7.12: Sonorizadores laterais.....	228
Figura 7.13: Fenômeno <i>spray</i> em vias molhadas.....	230
Figura 7.14: Influência da profundidade da banda de rodagem para uma lâmina d'água de 1 mm de profundidade (redução da área de contato entre o pneu e o pavimento).....	233
Figura 8.1: Exemplo de zona livre na rodovia SPI-157/340, da malha do DER/SP	248
Figura 8.2: Fluxograma para projeto seguro das laterais das vias.....	251
Figura 8.3: Exemplo de seção transversal em talude de aterro recuperável.....	259
Figura 8.4: Necessidade de proteção dos usuários em estrutura de drenagem não traspassável	261
Figura 8.5: Ábacos para definir as seções transversais traspassáveis da drenagem lateral	262
Figura 8.6: Exemplo de uso de dispositivo amortecedor de impacto em praça de pedágio	265

Figura 8.7: Exemplo de uso de dispositivo amortecedor de impacto em bifurcação.....	265
Figura 8.8: Exemplo de uso de dispositivo de contenção lateral em uma ponte.....	266
Figura 8.9:	267
Figura 8.10: Afastamento lateral mínimo do dispositivo de contenção lateral.....	273
Figura 8.11: Exemplo de rampa de escape para caminhões na rodovia BR-277, Paraná	278
Figura 9.1: Tipos de conflitos.....	286
Figura 9.2: Dispositivo de interseção em desnível — trevo completo.....	294
Figura 9.3: Dispositivo de interseção em desnível — trevo parcial.....	296
Figura 9.4: Dispositivo de interseção em desnível — diamante.....	298
Figura 9.5: Dispositivo de interseção em desnível — trombeta.....	299
Figura 9.6: Dispositivo de interseção em desnível — interseção em desnível giratória.	301
Figura 9.7: Dispositivo de interseção em nível — interseção simples com prioridade de passagem.....	306
Figura 9.8: Dispositivo de interseção em nível — rotatória.....	307
Figura 9.9: Dispositivo de interseção em nível — rotatória alongada	309
Figura 10.1: Exemplo de travessia urbana tipo I	322
Figura 10.2: Exemplo de travessia urbana tipo II	323
Figura 10.3: Exemplo de travessia urbana tipo III	324
Figura 10.4: Tipologias e características das travessias urbanas	324
Figura 10.5: Lombada TIPO A.....	339
Figura 10.6: Lombada eletrônica.....	341
Figura 10.7: Lombofaixa	342
Figura 10.8: Interseção elevada ao nível dos passeios.....	343
Figura 10.9: Estreitamento da via	345
Figura 10.10: Exemplo de ilha central.....	346
Figura 10.11: Exemplo de bulbos.....	347
Figura 10.12: Redução de conflitos em rotatórias.....	348
Figura 10.13: Exemplo de rotatória galgável com dois raios	349
Figura 10.14: Exemplo de rotatória alongada.....	350

Figura 11.1: Ordem de tratamento recomendada para demanda de caminhada longitudinal de usuários vulneráveis	369
Figura 11.2: Ordem de tratamento recomendada para demanda de cruzamento dos usuários vulneráveis	371
Figura 11.3: Exemplo de passeio segregado para acomodar pedestres e ciclistas em viadutos e pontes	374
Figura 12.1: Gerenciamento da Segurança Viária.....	380
Figura 12.2: Etapas de aplicação da ASV e responsáveis por cada etapa	382
Figura 12.3: Etapas de aplicação do método do iRAP.....	387
Figura 12.4: Classificação em Estrelas para cada usuário da via.....	389
Figura 12.5: Pirâmide da segurança.....	390
Figura 12.6: Etapas de aplicação da TCT Sueca	392
Figura 13.1: Etapas do Gerenciamento da Segurança Viária.....	400
Figura 13.2: Matriz de risco de acidentes	406
Figura 14.1: Etapas do Gerenciamento da Segurança Viária.....	432
Figura 14.2: Principais métodos de avaliação econômica utilizados no Gerenciamento da Segurança Viária.....	443
Figura 14.3: Etapa de priorização de projetos no Gerenciamento da Segurança Viária	449
Figura 14.4: Esquema da metodologia utilizada em estudos observacionais antes / depois simples	459
Figura 14.5: Esquema da metodologia utilizada em estudos observacionais antes / depois usando o método Empírico de Bayes.....	460
Figura 14.6: Esquema da metodologia utilizada em estudos observacionais antes / depois com grupo de controle	463
Figura 14.7: Esquema da metodologia utilizada em estudos observacionais transversais.....	465
Figura 15.1: Etapas do método preditivo do HSM	491
Figura 16.1: Tipos de condições operacionais seguras de rodovias	500

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1: Quinze principais causas de morte para a população mundial	38
Gráfico 1.2: Quinze principais causas de morte para jovens entre 15 e 29 anos no mundo	39
Gráfico 1.3: Proporção da população, mortes no trânsito e veículos registrados no mundo por nível de renda dos países (2019).....	40
Gráfico 1.4: Índice de óbitos por 100 mil habitantes por classe de renda dos países.....	40
Gráfico 1.5: Índice de óbitos por 100 mil habitantes nas regiões da OMS, no Brasil e no mundo (2019)	41
Gráfico 1.6: Índice de óbitos por 100 mil habitantes nos países com maior PIB do mundo (2019)	42
Gráfico 1.7: Evolução do índice de óbitos por 100 mil habitantes no Brasil entre 2010 e 2019	43
Gráfico 1.8: Evolução do número de óbitos e internações no Brasil por acidentes de trânsito	44
Gráfico 1.9: Evolução dos óbitos no Brasil, por tipo de veículo.....	45
Gráfico 1.10: Evolução do perfil das vítimas fatais de acidente de trânsito no Brasil.....	45
Gráfico 1.11: Natureza das indenizações pagas e número de óbitos registrados no Brasil.....	46

Gráfico 1.12: Óbitos causados por acidente de trânsito no estado de São Paulo.....	47
Gráfico 1.13: Acidentes fatais e não fatais no estado de São Paulo, por administração das rodovias (2020).....	48
Gráfico 1.14: Perfil das vítimas fatais no estado de São Paulo, por tipo de veículo, entre 2015 e 2020	49
Gráfico 1.15: Perfil das vítimas fatais no estado de São Paulo, por idade e sexo, entre 2015 e 2020	50
Gráfico 1.16: Índice de óbitos por 100 mil habitantes no estado de São Paulo, entre 2015 e 2020	52
Gráfico 1.17: Índice de óbitos por 10 mil veículos no estado de São Paulo, entre 2015 e 2020	52
Gráfico 1.18: Índice de Feridos (IF), Índice de Acidentes (IA) e Índice de Mortos (IM) nas rodovias estaduais de São Paulo, entre 2000 e 2020	53
Gráfico 1.19: Evolução do índice de óbitos no trânsito em países desenvolvidos, entre 1950 e 2010	55
Gráfico 3.1: Custos relativos dos acidentes em rodovias federais brasileiras.....	103
Gráfico 4.1: Distância de reação, frenagem e parada em função da velocidade	109
Gráfico 4.2: Feridos por 100 veículos envolvidos em acidentes, de acordo com a velocidade	110
Gráfico 4.3: Relação da velocidade de impacto com o risco de morte de tipos de acidentes distintos	111
Gráfico 5.1: Variações de curto prazo na frequência de acidentes.....	143
Gráfico 7.1: Índice de acidentes em função do raio da curva	201
Gráfico 7.2: Critérios desejáveis para orientar a escolha dos raios de curvas sucessivas.....	204
Gráfico 12.1: Diagrama de conflito de tráfego	393
Gráfico 17.1: Percentual médio de acidentes com vítimas fatais na malha rodoviária paulista, entre 2017 e 2021	518
Gráfico 17.2: Percentual médio do total de acidentes na malha rodoviária paulista, entre 2017 e 2021	518

LISTA DE SIGLAS

ABS	Anti-lock Braking System
AEB	Auto Emergency Break
AFE	Auxílio de Frenagem de Emergência (em inglês, Break Assist System, BAS)
ARTESP	Agência de Transporte do Estado de São Paulo
ASI	Acceleration Severity Index (em português, Índice de Severidade da Aceleração)
ASV	Auditoria de Segurança Viária
CCO	Centro de Controle Operacional
CNH	Carteira Nacional de Habilitação
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CVC	Combinações de Veículos de Carga
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DER/SP	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DVP	Distância de Visibilidade de Parada
DVTD	Distância de Visibilidade de Tomada de Decisão (ou DVD, Distância de Visibilidade de Decisão)
DVU	Distância de Visibilidade de Ultrapassagem
IML	Instituto Médico Legal

INFOSIGA SP	Sistema de Informações Gerenciais de Acidentes de Trânsito do Estado de São Paulo
iRAP	International Road Assessment Programme
ITS	Intelligent Transportation System (em português, Sistemas Inteligentes de Transporte)
OIV	Occupant Impact Velocity (em português, Velocidade de Impacto do Ocupante)
OMS	Organização Mundial da Saúde
ORA	Occupant Ridedown Acceleration
PcD	Pessoa com Deficiência
PGV	Polo gerador de viagens
PIB	Produto Interno Bruto
PMRv	Polícia Militar Rodoviária
PMVs	Painéis de Mensagens Variáveis
Pnatrans	Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito
PRF	Polícia Rodoviária Federal
PRT	Perception-Response (reaction) Time (em português, Tempo de Percepção e Resposta)
RBC	Razão benefício-custo
RPM	Regressão para a Média
SENATRAN	Secretaria Nacional do Trânsito
TCT	Técnica de análise de Conflitos de Tráfego
THIV	Theoretical Head Impact Velocity (em português, Velocidade Teórica de Impacto da Cabeça)
TIR	Taxa interna de retorno
UCP	Unidades de carro de passeio
VDM	Volume Diário Médio
VHP	Volume Horário de Projeto
VP	Valor presente
VPL	Valor presente líquido
VRD	Valor de Resistência à Derrapagem

SUMÁRIO

PREFÁCIO	25
APRESENTAÇÃO.....	27
INTRODUÇÃO	31
1. PANORAMA DA SEGURANÇA VIÁRIA.....	35
1.1 O Panorama Mundial.....	37
1.2 Panorama nacional.....	41
1.3 Panorama estadual	47
1.4 A abordagem da Segurança Viária	54
1.4.1 <i>A Década de Ação para a Segurança no Trânsito</i>	57
1.4.2 <i>Segunda Década de Ação para a Segurança no Trânsito</i>	59
Referências bibliográficas	61
2. CARÁTER MULTIDISCIPLINAR DA SEGURANÇA VIÁRIA	65
2.1 Pilares da Segurança Viária.....	67

2.2	Engenharia de Segurança Viária.....	70
2.3	Gerenciamento da Segurança Viária	72
2.3.1	<i>Processo tradicional do Gerenciamento da Segurança Viária.....</i>	72
2.3.2	<i>Análise sistêmica</i>	78
	Referências bibliográficas	82
3.	ACIDENTALIDADE.....	85
3.1	Classificação de acidentes	87
3.1.1	<i>Tipologia dos acidentes.....</i>	87
3.1.2	<i>Severidade dos acidentes.....</i>	91
3.2	Indicadores de Segurança Viária	92
3.2.1	<i>Principais indicadores de Segurança Viária</i>	93
3.2.2	<i>Cálculo de segmentos críticos.....</i>	98
3.3	Custo dos acidentes.....	100
	Referências bibliográficas	104
4.	FATORES DE RISCO E FATORES CONTRIBUINTES PARA OS ACIDENTES.....	105
4.1	Fatores de risco que contribuem para a ocorrência dos acidentes	108
4.1.1	<i>Velocidade.....</i>	109
4.1.2	<i>Interação pessoa–via–veículo–meio ambiente.....</i>	112
4.1.2.1	<i>Fatores de risco associados ao ser humano</i>	117
4.1.2.2	<i>Fatores de risco associados à via</i>	120
4.1.2.3	<i>Fatores de risco associados ao meio ambiente</i>	122
4.1.2.4	<i>Fatores de risco associados aos veículos.....</i>	122
4.2	Fatores de risco que contribuem para a severidade dos acidentes.....	123
4.3	Matriz de Haddon	125
4.4	Conceito de homeostase de risco	127
4.5	Limitações da análise de fatores de risco e/ou fatores contribuintes.....	129
	Referências bibliográficas	131
5.	USO E TRATAMENTO DE DADOS DE ACIDENTES	133
5.1	Base de dados.....	134
5.1.1	<i>Sistema de dados</i>	134

5.1.2	<i>Coleta de dados</i>	139
5.1.3	<i>Qualidade dos dados</i>	142
5.2	Definição do período de análise	143
5.3	Identificação e caracterização de locais críticos de acidentes	145
5.4	Diagnóstico dos locais críticos	147
5.4.1	<i>Revisão dos dados</i>	148
5.4.2	<i>Estatísticas descritivas de acidentes</i>	149
5.4.1.2	<i>Descrição dos locais de acidentes</i>	150
5.4.2	<i>Avaliação de documentação de apoio</i>	160
5.4.3	<i>Inspeção das condições de campo</i>	161
	Referências bibliográficas	163
6.	DIRETRIZES PARA PROJETO SEGURO DE RODOVIAS	165
6.1	A Segurança Viária nas etapas do projeto de engenharia	173
6.2	Classificação das rodovias	174
6.3	Critérios de projeto	177
6.3.1	<i>Considerações sobre diferentes usuários</i>	180
6.4	Consistência e legibilidade	183
6.5	Velocidade	186
6.6	Influências do tráfego	190
6.6.1	<i>Volume e composição</i>	190
6.6.2	<i>Congestionamento e gestão de tráfego</i>	191
6.7	Efeito das soluções de engenharia na Segurança Viária	193
	Referências bibliográficas	194
7.	PROJETO SEGURO DE RODOVIAS	196
7.1	Configuração geométrica da via	197
7.1.1	<i>Alinhamento horizontal</i>	198
7.1.2	<i>Alinhamento vertical</i>	205
7.1.3	<i>Coordenação entre os alinhamentos horizontal e vertical</i>	208
7.1.4	<i>Declividade transversal</i>	216
7.1.5	<i>Distância de visibilidade</i>	218
7.1.6	<i>Larguras das faixas de rolamento e acostamento</i>	225

7.2 Pavimento	229
7.3 Drenagem.....	231
7.4 Sinalização	234
7.5 Iluminação.....	238
7.6 Considerações finais sobre a elaboração de um projeto seguro.....	240
Referências bibliográficas	241
8. PROJETO SEGURO DAS LATERAIS DAS VIAS.....	245
8.1 Determinação de zona livre lateral em rodovias	246
8.2 Caracterização dos elementos de risco dentro da zona livre	249
8.2.1 <i>Elementos naturais</i>	253
8.2.2 <i>Suportes de sinalização vertical, de iluminação ou utilitários</i>	254
8.2.3 <i>Obras de arte e pilares de viadutos</i>	255
8.2.4 <i>Canteiro central</i>	256
8.2.5 <i>Instalações de apoio</i>	256
8.2.6 <i>Taludes</i>	257
8.2.6.1 <i>Taludes de aterro</i>	257
8.2.6.2 <i>Taludes de corte</i>	259
8.2.6.3 <i>Taludes transversais</i>	260
8.2.7 <i>Dispositivos de drenagem</i>	260
8.2.7.1 <i>Drenagem lateral</i>	261
8.2.7.2 <i>Estruturas de drenagem</i>	262
8.2.8 <i>Outros pontos de risco</i>	264
8.3 Dispositivos de contenção viária.....	266
8.3.1 <i>Dispositivos de contenção longitudinal</i>	268
8.3.1.1 <i>Classificação dos dispositivos de contenção</i>	268
8.3.1.2 <i>Seleção dos dispositivos de contenção</i>	269
8.3.1.3 <i>Recomendações de projeto</i>	272
8.3.2 <i>Dispositivos de contenção pontual</i>	274
8.3.2.1 <i>Terminais de dispositivos de contenção longitudinal</i>	275
8.3.2.2 <i>Dispositivos amortecedores de impacto</i>	276
8.4 Rampas de escape	278
Referências bibliográficas	282

9.	PROJETO SEGURO DE INTERSEÇÕES E ACESSOS	283
9.1	Aspectos que influenciam a segurança em dispositivos de interseção	285
9.1.1	<i>Movimentos e conflitos</i>	285
9.1.2	<i>Velocidade</i>	287
9.1.3	<i>Volume Diário Médio (VDM) e Volume Horário de Projeto (VHP)</i>	288
9.1.4	<i>Visibilidade</i>	289
9.1.5	<i>Classe da rodovia</i>	290
9.1.6	<i>Usuários vulneráveis</i>	291
9.2.	Tipos de dispositivos de interseção.....	291
9.2.1	<i>Interseções em desnível</i>	293
9.2.2.	<i>Interseções em nível</i>	303
9.3	Dispositivos de acesso à rodovia e o papel das vias marginais	310
9.4	Legibilidade e consistência do dispositivo	312
9.5	Critérios de segurança para projeto e seleção de dispositivos	315
	Referências bibliográficas	319
10.	TRAVESSIAS URBANAS	321
10.1	Mobilidade e Acessibilidade	325
10.2	Principais zonas e elementos em uma travessia urbana	328
10.3	Principais problemas de Segurança Viária em travessias urbanas.....	330
10.4	Critérios de projeto em travessias urbanas	333
10.5	Medidas moderadoras de tráfego	337
10.5.1	<i>Lombada</i>	339
10.5.2	<i>Lombada eletrônica</i>	340
10.5.3	<i>Lombofaixa</i>	341
10.5.4	<i>Interseção elevada ao nível dos passeios</i>	343
10.5.5	<i>Estreitamento da via</i>	344
10.5.6	<i>Ilhas centrais</i>	345
10.5.7	<i>Bulbos</i>	346
10.5.8	<i>Rotatória</i>	347
10.5.9	<i>Rotatória alongada</i>	350
10.6	Sinalização e iluminação.....	350
	Referências bibliográficas	352

11. CONSIDERAÇÕES SOBRE USUÁRIOS VULNERÁVEIS	355
11.1 Identificação de usuários vulneráveis	357
11.1.1 <i>Segurança de pedestres</i>	360
11.1.2 <i>Segurança de ciclistas</i>	363
11.1.3 <i>Segurança de motociclistas</i>	365
11.2 Tratamento dos usuários vulneráveis.....	366
11.2.1 <i>Demanda de caminhada longitudinal</i>	367
11.2.2 <i>Demanda de cruzamento</i>	370
11.3 Recomendações especiais para usuários vulneráveis	373
11.3.1 <i>A iluminação como importante elemento de segurança</i>	373
11.3.2 <i>Acomodação de ciclistas e pedestres em pontes e viadutos</i>	374
11.3.3 <i>Recomendações para paradas de ônibus</i>	374
Referências bibliográficas	376
12. ABORDAGENS PROATIVAS.....	379
12.1 Auditoria de Segurança Viária	381
12.2 Método iRAP — Programa Internacional de Avaliação de Rodovias.....	387
12.2.1 <i>Inspeção da via e dados de suporte</i>	388
12.2.2 <i>Análise utilizando a ferramenta computacional ViDA</i>	388
12.2.3 <i>Implementação</i>	389
12.3 Técnica de análise de Conflito de Tráfego (TCT).....	390
12.3.1 <i>Técnica Sueca de análise de conflitos de tráfego</i>	391
12.4 Comparação entre as técnicas de abordagens proativas	395
Referências bibliográficas	397
13. SELEÇÃO DE CONTRAMEDIDAS.....	399
13.1 Conceito e objetivos das contramedidas.....	401
13.2 Seleção de contramedidas.....	403
13.2.1 <i>Identificação dos fatores contribuintes e/ou fatores de risco</i>	404
13.2.1.1 <i>Avaliação do risco</i>	405
13.2.1.2 <i>Possíveis fatores contribuintes e/ou fatores de risco</i>	407
13.2.2 <i>Identificação das contramedidas</i>	408
13.2.2.1 <i>Referências de contramedidas com eficácia comprovada</i>	421

13.2.2.2	<i>Considerações sobre a seleção de contramedidas</i>	424
	Referências bibliográficas	428
14.	AVALIAÇÃO ECONÔMICA E MONITORAMENTO DE PROJETOS IMPLANTADOS	431
14.1	Avaliação econômica	434
14.1.1	<i>Estimativa dos benefícios</i>	438
14.1.2	<i>Estimativa dos custos</i>	440
14.1.3	<i>Indicadores de avaliação econômica</i>	442
14.1.4	<i>Análise de sensibilidade</i>	447
14.2	Métodos de priorização	448
14.3	Monitoramento de projetos implantados	452
14.3.1	Avaliação da efetividade de projetos implantados	453
14.3.1.1	<i>Método de estudos observacionais antes / depois</i>	457
14.3.1.2	<i>Método de estudos observacionais transversais</i>	463
14.3.1.3	<i>Método de estudos experimentais antes / depois</i>	466
14.3.1.4	<i>Comparação entre os métodos</i>	466
14.3.2	Inspeção e manutenção das contramedidas implementadas	469
	Referências bibliográficas	471
15.	MODELO PARA PREVISÃO DE ACIDENTES	473
15.1	Metodologia do HSM	476
15.2	Fundamentos do método preditivo	478
15.2.1	<i>Limites da área de estudo e tipos de infraestrutura viária</i>	478
15.2.2	<i>Componentes do sistema viário</i>	479
15.2.3	<i>Funções de Desempenho de Segurança (SPFs)</i>	480
15.2.4	<i>Fatores de Modificação de Acidentes (CMFs)</i>	482
15.2.5	<i>Fator de Calibração (C)</i>	485
15.2.6	<i>Método Empírico de Bayes</i>	486
15.3	Procedimento para aplicação do método preditivo	490
15.4	Considerações a respeito do emprego do método preditivo no Brasil	496
	Referências bibliográficas	498

16. OPERAÇÃO SEGURA DE RODOVIAS.....	499
16.1 Condições operacionais recorrentes	502
16.1.1 <i>Monitoramento e fiscalização</i>	502
16.1.2 <i>Conservação rotineira e preventiva periódica</i>	504
16.1.3 <i>Serviços de Atendimento ao Usuário</i>	506
16.2 Condições operacionais especiais.....	507
16.2.1 <i>Obras e serviços de conservação de emergência, restauração e melhorias da rodovia</i>	508
16.2.2 <i>Eventos especiais/dias atípicos</i>	510
16.2.3 <i>Operações de emergência</i>	512
Referências bibliográficas	514
17. PROBLEMAS TÍPICOS EM RODOVIAS DA MALHA PAULISTA.....	517
17.1 Efetividade esperada de contramedidas	519
17.2 Acidentes recorrentes e contramedidas recomendadas	520
17.2.1 <i>Atropelamento de pedestres</i>	520
17.2.2 <i>Choque</i>	525
17.2.3 <i>Colisão traseira</i>	528
17.2.4 <i>Colisão frontal</i>	531
17.2.5 <i>Colisão lateral</i>	533
17.2.6 <i>Tombamento</i>	536
17.3 Outras situações de risco recorrentes em rodovias do estado de São Paulo	538
Referências bibliográficas	541
ANEXO A	543
ANEXO B	545
ANEXO C.....	561
GLOSSÁRIO	562

PREFÁCIO

Dentro de sua missão de administrar o sistema rodoviário estadual e assegurar o tráfego com fluidez, conforto e segurança, o DER/SP desenvolveu este Manual de Segurança Viária considerando as normas nacionais e internacionais, incorporando as melhores práticas de Segurança Viária vigentes. Este Manual tem o propósito de:

- consolidar o conhecimento existente nesta importante área da engenharia rodoviária;
- considerar o estado da arte internacional e o que há de mais moderno atualmente no mundo em relação à Segurança Viária;
- incorporar a boa prática internacional aos procedimentos de análise, diagnóstico e seleção de contramedidas para a melhoria da segurança do sistema viário estadual.

O Manual de Segurança Viária do DER/SP foi concebido e desenvolvido de modo a aprimorar os procedimentos para identificar e quantificar os problemas de Segurança Viária, analisar a acidentalidade e os fatores de risco, elaborar um diagnóstico dos acidentes rodoviários e avançar na escolha de ações e contramedidas eficazes visando à redução da acidentalidade. Apresenta a conceituação de projeto seguro de rodovia

e soluções possíveis para os problemas de segurança encontrados, juntamente com a adoção de medidas de engenharia de Segurança Viária, escolha de contramedidas e avaliação do benefício-custo das soluções, apresentando amplo embasamento teórico e prático para auxiliar na identificação dos problemas de segurança e na escolha de soluções.

Com este material busca-se contribuir com os esforços nacionais e internacionais para redução da acidentalidade, dentro de parâmetros estabelecidos recentemente pela ONU, providenciando ferramentas técnicas sólidas para tornar as rodovias cada vez mais seguras. Elaborado para aplicação no estado de São Paulo, espera-se que este Manual contribua para que os índices de acidentalidade continuem decrescendo de forma consistente em nosso estado e oferecendo também aos demais estados brasileiros um material valioso para suas considerações de melhorias da Segurança Viária.

Desta forma, espera-se que a aplicação consistente do material disponibilizado possa produzir uma melhoria constante dos índices de Segurança Viária, resultando em vidas salvas e na redução das sequelas decorrentes dos acidentes.

Importante ressaltar a participação do Corpo Técnico do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo na elaboração do Manual de Segurança Viária. Porém, a presente edição nasceu, principalmente, do trabalho abnegado, metódico e silencioso do engenheiro José Luiz Fuzaro Rodrigues, que impôs compromisso pessoal na pesquisa, síntese e redação de todo o manual. Dessa forma, fica registrado o agradecimento especial ao Eng. Fuzaro por sua dedicação na consecução do Manual de Segurança Viária.

Sérgio Henrique Codelo Nascimento

Superintendente do DER/SP

APRESENTAÇÃO

O DER/SP tem a satisfação de apresentar à comunidade técnica seu novo Manual de Segurança Viária.

Fruto de longo planejamento, pesquisa, consolidação de conhecimento e desenvolvimento ao longo dos últimos anos por parte do nosso corpo técnico, este Manual de Segurança Viária tem o propósito de contribuir para a melhoria da Segurança Viária em nossas rodovias, e colaborar com os esforços nacionais e internacionais para a redução da acidentalidade viária.

A insegurança viária é um fenômeno mundial, onde milhares de vidas são perdidas anualmente em decorrência de acidentes de trânsito. Segundo a ONU (Organização das Nações Unidas) e a OMS (Organização Mundial da Saúde), cerca de 1,3 milhão de pessoas morrem anualmente em decorrência destes acidentes em todo o mundo, além de um número ainda maior de feridos e de pessoas com sequelas permanentes.

Embora os índices de óbitos por 100 mil habitantes no estado de São Paulo esteja entre os menores do Brasil, foram registrados 5.348 óbitos em acidentes de trânsito no ano de 2022, sendo que 38,6% (2.067) destes óbitos ocorreram nas rodovias estaduais¹.

¹ Disponível em: <http://painelderesultados.infosiga.sp.gov.br/dados>. Acesso em: 20 fev. 2023.

Apesar das estatísticas demonstrarem uma tendência constante de queda das vítimas no trânsito entre os anos de 2015 e 2022 no estado de São Paulo, observa-se um pequeno aumento nesse número em 2022, mostrando que ainda são necessários muitos esforços para combater a insegurança viária e evitar que tantas vidas sejam perdidas no trânsito.

Além disso, estima-se que estes acidentes tenham um custo social de cerca de 2% do PIB paulista, representando uma perda anual significativa.

Com o propósito de fazer frente a esse problema de Segurança Viária o DER/SP, com o apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), concebeu e produziu este Manual de Segurança Viária buscando consolidar o conhecimento e as melhores práticas existentes no campo da Segurança Viária com base nas mais conceituadas e atualizadas referências internacionais, além de preencher lacunas no conhecimento, aprimorar os procedimentos de melhoria e apresentar o estado da arte em Segurança Viária disponível internacionalmente.

Este é o primeiro Manual elaborado pelo DER/SP sobre o assunto, sendo uma publicação pioneira em nosso país sobre o tema. A sua concepção representa um marco importante na evolução e no aprimoramento da identificação dos problemas de Segurança Viária, da análise destes problemas e na seleção dos tratamentos ou contramedidas de Segurança Viária.

As informações reunidas neste Manual têm como objetivo orientar e fundamentar o trabalho de profissionais envolvidos com a Segurança Viária em todas as etapas que compõem o desenvolvimento de um projeto de rodovias, desde o planejamento, projeto preliminar, projeto executivo, implantação do projeto até o seu gerenciamento e operação.

Baseando-se na visão mais recente da Segurança Viária, as discussões apresentadas no Manual são orientadas pela abordagem do Sistema Seguro, considerando o conceito de rodovias que perdoam e entendendo que o ser humano comete erros e que, portanto, o sistema viário deve ser capaz de minimizar as consequências dessas falhas.

O objetivo deste Manual é munir autoridades governamentais, projetistas, construtores, gestores e operadores do sistema rodoviário de ferramentas que permitam conceber, implantar e gerir sistemas capazes de perdoar os erros humanos no trânsito.

Ressalta-se ainda a necessidade de ações conjuntas das áreas de engenharia, educação e fiscalização no trânsito, induzindo os usuários a cumprir as leis de trânsito e adotar práticas seguras de circulação.

Dada a relevância e importância dos temas abordados neste Manual para a melhoria da Segurança Viária, esperamos que esta publicação seja um instrumento de referência para o Gerenciamento da Segurança Viária no estado de São Paulo, e que possa também servir como parâmetro a outras entidades brasileiras.

INTRODUÇÃO

A cada ano, os acidentes de trânsito são responsáveis por cerca de 1,3 milhão de mortes em todo o mundo. Tendo em vista que acidentes viários são em grande parte previsíveis e amplamente evitáveis, diversas ações e projetos foram, e continuam sendo, desenvolvidos mundialmente com o objetivo de melhorar a Segurança Viária e, consequentemente, reduzir o número de fatalidades no trânsito.

O Manual de Segurança Viária do DER/SP se propõe a discutir aspectos da Segurança Viária, tendo como objetivo ser um instrumento de referência para planejadores, projetistas, operadores e autoridades governamentais na elaboração de projetos seguros de rodovias e no Gerenciamento da Segurança Viária da malha do estado de São Paulo, podendo também ser utilizado por outras entidades brasileiras, a critério das autoridades locais.

Este Manual apresenta o conteúdo estruturado em dezessete capítulos, que são descritos a seguir.

O primeiro capítulo conceitua a Segurança Viária e fornece um panorama geral desse tema no âmbito mundial, nacional e estadual, além de apresentar um breve histórico da abordagem da Segurança Viária.

O segundo capítulo detalha a abordagem da Segurança Viária, apresentando suas diversas áreas de atuação — conhecidas como os “pilares da Segurança Viária”. Também enfatiza o pilar da engenharia, que é o objeto central deste Manual, e introduz o processo de Gerenciamento da Segurança Viária e a técnica de análise sistêmica.

O Capítulo 3 conceitua a acidentalidade e apresenta metodologias para quantificá-la, destacando os indicadores de Segurança Viária mais utilizados. No Capítulo 4 são definidos os conceitos de fator de risco e fator contribuinte para os acidentes. Além disso, é introduzido o conceito de homeostase de risco.

O Capítulo 5 aborda o uso e o tratamento de dados de acidentes, desde a coleta dos dados até a revisão das informações coletadas. São, também, apresentadas considerações a respeito da utilização dos dados de acidentes para identificar e diagnosticar locais críticos, por meio de etapas específicas do processo de Gerenciamento da Segurança Viária.

Os capítulos 6 a 9 apresentam considerações a respeito de projetos seguros de rodovias. O Capítulo 6 estabelece diretrizes para a elaboração de um projeto seguro, introduzindo a abordagem do Sistema Seguro e conceitos como rodovias que perdoam, rodovias autoexplicativas, segurança nominal versus segurança substantiva, consistência e legibilidade. Este capítulo também analisa de que forma características da via, como a velocidade, a classe de projeto, o volume e a composição do tráfego, são capazes de influenciar o nível de segurança.

O Capítulo 7 é voltado para o projeto seguro da rodovia, abordando a geometria da via (alinhamento horizontal e vertical, seção transversal, visibilidade, largura das faixas de rolamento etc.), pavimento, drenagem, sinalização, entre outros; o Capítulo 8, por sua vez, aborda a elaboração de um projeto seguro para as laterais das vias, destacando a importância da existência de uma zona livre lateral e apresentando uma ordem de tratamento recomendada para lidar com a presença de obstáculos dentro da zona livre calculada, procurando eliminar ou minimizar os fatores de risco adjacentes; o Capítulo 9 apresenta considerações para a elaboração de projetos seguros de dispositivos de interseção e de acesso, destacando aspectos que influenciam a escolha do tipo de dispositivo (como velocidade, volume de tráfego, visibilidade etc.) e detalhando os principais dispositivos utilizados em rodovias paulistas.

O Capítulo 10 discute a Segurança Viária em projetos de rodovias que atravessam áreas urbanas. Neste capítulo, são definidos três tipos de travessias urbanas, de acordo com o nível de segregação entre a rodovia e a área urbana. Também são apresentadas as principais medidas moderadoras de tráfego (*traffic calming*), destinadas a gerenciar a velocidade em áreas urbanizadas. O Capítulo 11 é dedicado ao tratamento de usuários vulneráveis (pedestres e ciclistas) em rodovias, especialmente em travessias urbanas com grande influência de áreas urbanizadas.

O Capítulo 12 é voltado para a abordagem proativa no tratamento da Segurança Viária, na qual busca-se agir preventivamente em favor da segurança. Este capítulo apresenta as principais técnicas utilizadas nessa abordagem.

Os capítulos 13 e 14 abordam etapas do Gerenciamento da Segurança Viária. No Capítulo 13 é detalhada a etapa da seleção de contramedidas, sendo definido o conceito de contramedida e apresentada a relação entre as contramedidas e os fatores de risco. Ainda, é elaborada uma lista com as principais contramedidas com efetividade comprovada, utilizadas nacional e internacionalmente. No Capítulo 14 são apresentadas as etapas de avaliação econômica, priorização de projetos e monitoramento dos projetos implantados, sendo identificados diferentes métodos que podem ser utilizados em cada uma dessas etapas. É destacada, ainda, a importância das avaliações da efetividade dos projetos implantados e do compartilhamento dos resultados alcançados para auxiliar na seleção de contramedidas de outros projetos.

O Capítulo 15 apresenta uma metodologia para a previsão de acidentes, o método preditivo do *Highway Safety Manual (HSM)*¹, utilizada para estimar os benefícios advindos da implantação de uma contramedida.

O Capítulo 16 é dedicado à operação segura das rodovias, sendo definidas duas condições operacionais — operação recorrente e operação especial.

Por fim, o Capítulo 17 encerra o conteúdo apresentando problemas típicos de segurança que podem ocorrer em rodovias da malha paulista. Os tipos de acidentes mais comuns e com elevado grau de severidade são associados aos principais fatores de risco, sendo apontadas possíveis contramedidas que podem reduzir ou, até mesmo, eliminar esses fatores, melhorando a Segurança Viária.

¹ Manual de Segurança de Rodovias em tradução livre.



PANORAMA DA SEGURANÇA VIÁRIA

A Segurança Viária pode ser considerada como a “ausência de acidentes e lesões no trânsito”, decorrente dos atributos intrínsecos do sistema viário e do comportamento dos seus usuários. Assim, a Segurança Viária pode ser medida pelos parâmetros da sua insegurança, baseando-se nos números de acidentes, fatalidades, ferimentos e danos que ocorrem na via ou no sistema viário.

Dessa forma, a análise da Segurança Viária é fundamentada na análise da ocorrência de acidentes e nas suas consequências, por tipo e severidade, os quais podem ocorrer em um determinado período de tempo. Também é possível ser avaliada com base na aderência dos projetos às normas e aos padrões de segurança, atendendo aos critérios de engenharia que comprovadamente cooperam para a Segurança Viária e para o estado da arte internacional de Segurança Viária. Adicionalmente, a Segurança Viária pode ser avaliada pela percepção de risco dos usuários por meio de reclamações e pedidos de melhorias apresentados às autoridades com jurisdição sobre a via.

Segurança Viária pode ser explicada a partir das características da via que contribuem para garantir a integridade física de seus usuários e dos bens materiais ao seu redor. Deve ser considerada na concepção, construção, manutenção e operação de uma rodovia [1].

Acidente rodoviário ou acidente viário, para efeitos deste Manual, é definido como um evento inesperado que ocorre em vias abertas à circulação e em seus entornos, envolvendo um ou mais veículos, podendo ser (i) entre veículos, (ii) entre veículos e pedestres e/ou animais, ou (iii) entre veículos e obstáculos fixos ao longo da via, que produzem ferimentos a pessoas e/ou danos materiais. Acidentes são o resultado de uma série de ocorrências simultâneas ou sequenciais — os fatores contribuintes —, como as condições da pista, o comportamento humano, as condições do veículo e o meio ambiente, incluindo o ambiente viário e as condições climáticas.

Por definição, todo acidente é evitável ou em grande parte evitável. Isso significa que não existe acidente impossível de se evitar, uma vez que o risco de se envolver e se ferir em um acidente é largamente previsível e há medidas paliativas comprovadamente efetivas para a sua mitigação, exigindo normalmente ação multidisciplinar.

Na abordagem da Segurança Viária é preciso considerar o imperativo ético de que nenhuma perda de vida se justifica por questões econômicas, de mobilidade ou de benefícios futuros. Em vista disso, a ciência da Segurança Viária evoluiu ao longo do tempo, partindo de uma análise estrita do cumprimento de normas de projeto e construtivas, para uma análise de dados de acidentes de modo a compreender sua ocorrência, seguindo posteriormente para abordagens mais proativas que procuram agir antes da ocorrência de acidentes.

Inicialmente, assumiu-se que atender aos padrões e normas de projeto resultaria em rodovias seguras. Entretanto, a maioria das normas de projeto não foram avaliadas especificamente quanto ao seu impacto na segurança, tampouco à sua interação com outros elementos de segurança. A interação de vários elementos de projeto próximos aos seus limites mínimos ou máximos pode resultar em projetos não tão seguros, embora cada elemento individual esteja dentro dos seus limites aceitáveis. Assim, acidentes podem ocorrer em vias que atendam aos padrões de projeto e também em vias que não atendam aos critérios estabelecidos em norma.

A disciplina de Segurança Viária deve se basear na análise de dados ou evidências. Essa abordagem enfatiza os dados e sua análise, ao invés do atendimento a padrões estabelecidos por experiência pessoal ou mera intuição. A Segurança Viária pode ser medida em números absolutos de fatalidades, feridos ou acidentes observados em uma via ou em um trecho de via, ou por meio de índices que relacionam essas variáveis

à população, à frota ou à exposição ao risco. Os dados observados de cada trecho devem ser comparados a outros trechos com características semelhantes para poder avaliar seu desempenho de segurança. O mesmo pode ocorrer entre países, estados ou malhas viárias. Mesmo as análises proativas baseiam-se em medidas amplamente conhecidas que promovem melhorias na segurança das vias [2].

Tradicionalmente, a Segurança Viária concentrou-se em promover o respeito às regras de trânsito por meio de educação, treinamento, regulamentação e fiscalização. Entretanto, essas iniciativas desconsideram questões sistêmicas, de projeto e de infraestrutura que afetam a capacidade dos indivíduos se deslocarem com segurança no trânsito [3].

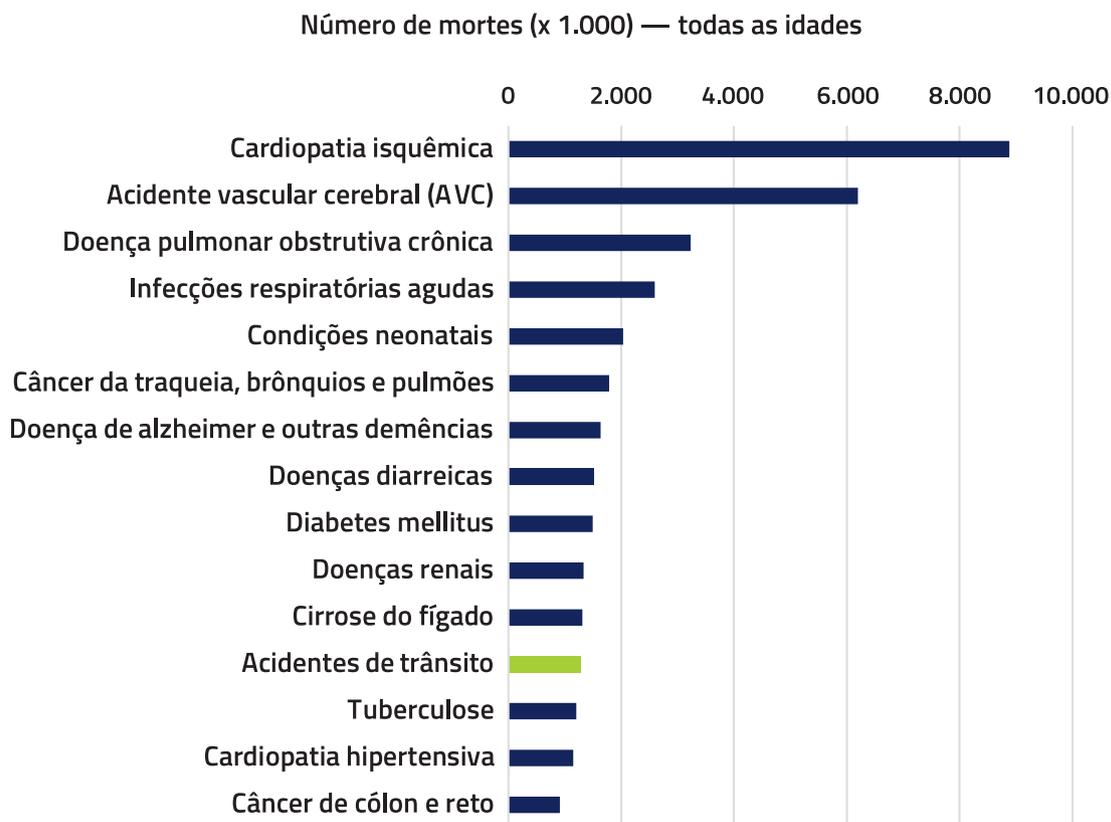
Os desafios para promover a Segurança Viária nas rodovias incluem diversas áreas de atuação: definições de projeto, qualidade de sua construção, rotinas e planos operacionais de manutenção e fiscalização, novos desejos de viagem, transformações do uso do solo e da densidade ocupacional lindeiras às rodovias, modernização dos veículos, tempo de resposta e qualidade do atendimento aos acidentados. Nesse contexto, a Segurança Viária necessita de ação integrada entre os órgãos competentes e os usuários da via.

Neste capítulo, são apresentados os panoramas mundial, nacional e estadual atuais da Segurança Viária, bem como a evolução da abordagem da Segurança Viária ao longo do tempo.

1.1 O Panorama Mundial

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), todos os anos cerca de 1,3 milhão de pessoas no mundo perdem a vida em acidentes de trânsito, e entre 20 e 50 milhões sofrem algum tipo de lesão que pode resultar em invalidez permanente [4]. Em 2019, apenas no continente americano, os acidentes de trânsito foram responsáveis por aproximadamente 154 mil mortes, representando cerca de 12% das fatalidades no trânsito do mundo [5].

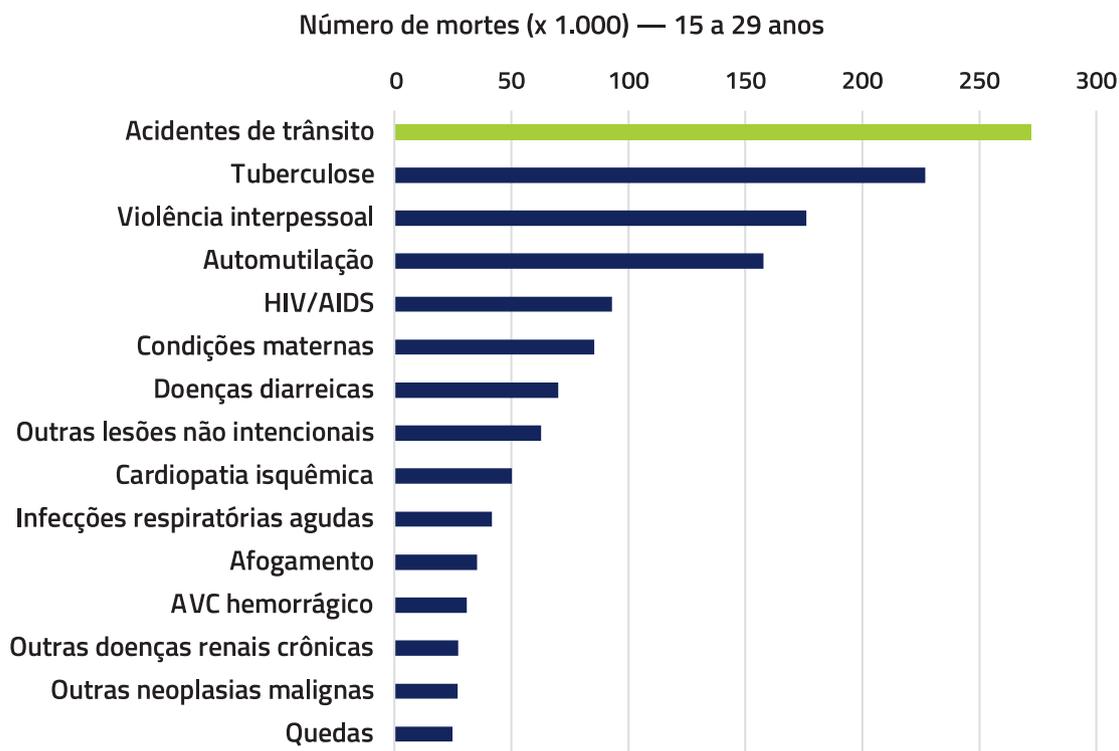
Nesse mesmo ano, os acidentes de trânsito foram a 12ª causa de mortes no mundo, à frente de doenças como a Tuberculose [6]. No Gráfico 1.1, é possível observar as quinze principais causas de morte no mundo para toda a população.

Gráfico 1.1: Quinze principais causas de morte para a população mundial

Fonte: elaborado pelo autor com base em [6]

Acidentes de trânsito também são a primeira causa de morte entre jovens com idade entre 15 e 29 anos, como é possível observar no Gráfico 1.2. Nota-se que, para a população jovem, o número de óbitos em acidentes de trânsito foi de 272 mil em 2019, com 45 mil ocorrências a mais que a segunda maior causa de morte — tuberculose [6].

Tendo em vista esse panorama de elevado número de óbitos e lesões no trânsito, a OMS passou a tratar essa questão como um problema de saúde pública. Uma alta porcentagem dos leitos hospitalares é atualmente ocupada com sequelados de acidentes de trânsito, prejudicando o atendimento a outras necessidades. Essas situações são mais evidentes em países com renda média e baixa, uma vez que a Segurança Viária é afetada por aspectos socioeconômicos.

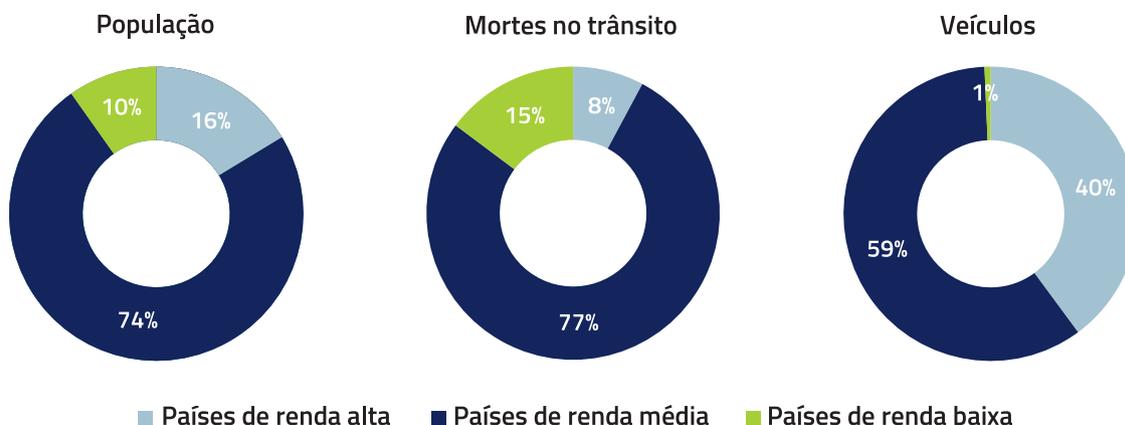
Gráfico 1.2: Quinze principais causas de morte para jovens entre 15 e 29 anos no mundo

Fonte: elaborado pelo autor com base em [6]

Do total de fatalidades por ano no mundo, estima-se que 92% ocorreram em países em desenvolvimento (de renda média e baixa), cuja população representa 84% da população mundial e a motorização corresponde a apenas 60% dos veículos registrados no mundo [4]. Esses dados são apresentados no Gráfico 1.3. Nessas estatísticas, o Brasil está incluído na categoria de países de renda média, conforme classificação do Banco Mundial [7].

No mesmo gráfico, é possível observar que países de renda alta, embora correspondam a 16% da população, detêm 40% do número de veículos e somente 8% das mortes no trânsito registradas no mundo. Países de renda média são responsáveis por 77% das mortes no trânsito, porém representam 74% da população mundial e detêm 59% dos veículos. Países de renda baixa compreendem apenas 1% dos veículos e são 10% da população do mundo, mas constituem 15% das mortes no trânsito.

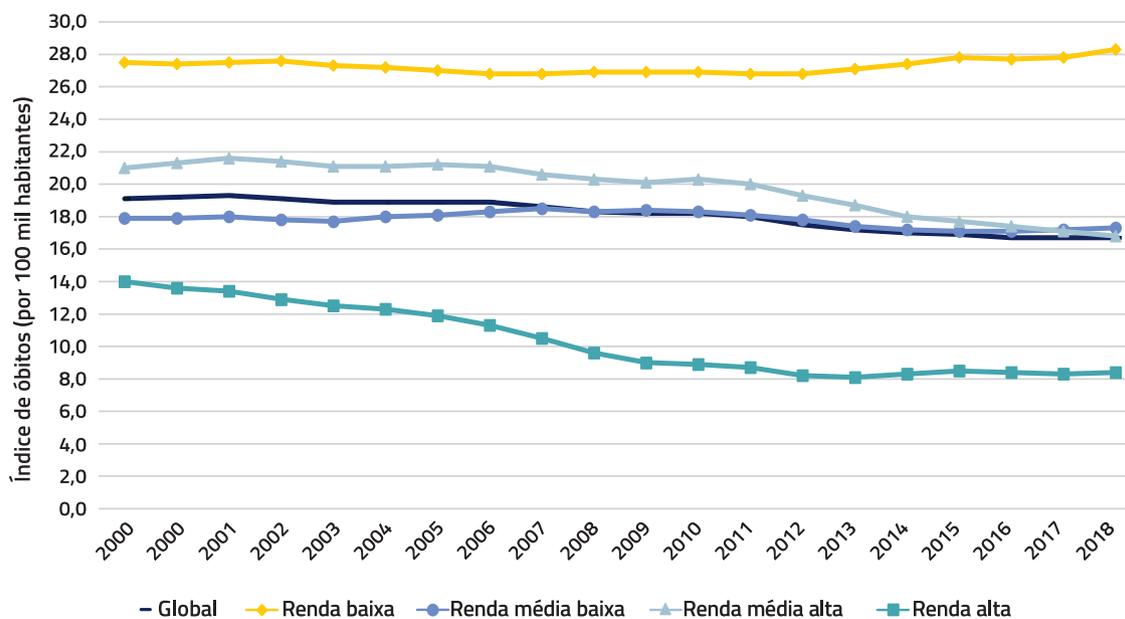
Gráfico 1.3: Proporção da população, mortes no trânsito e veículos registrados no mundo por nível de renda dos países¹ (2019)



Fonte: elaborado pelo autor com base em [4]

O Gráfico 1.4 apresenta o número de óbitos por 100 mil habitantes por classe de renda dos países.

Gráfico 1.4: Índice de óbitos por 100 mil habitantes por classe de renda dos países



Fonte: elaborado pelo autor com base em [5]

¹ Os gráficos de população e mortes no trânsito foram elaborados com dados de 2019. Dados da frota não são atualizados pela OMS desde 2017.

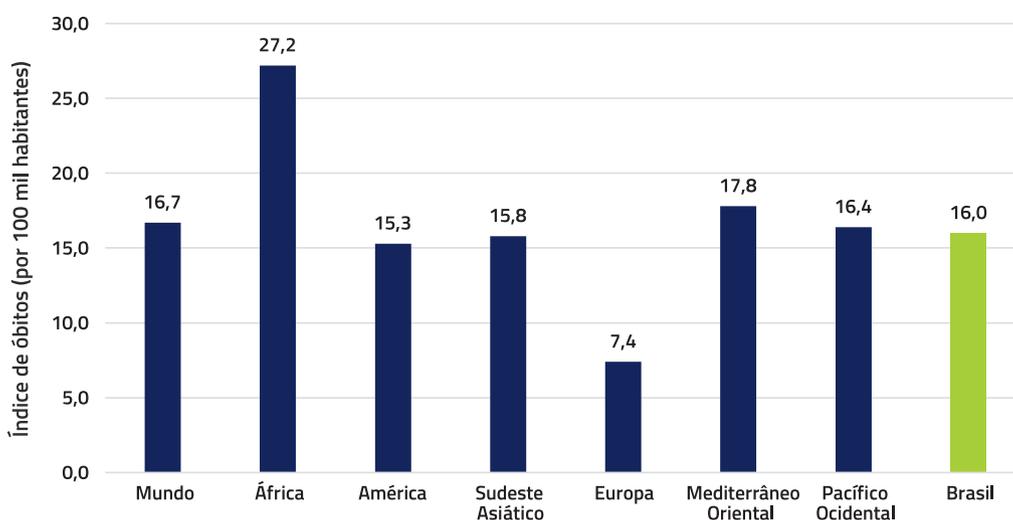
Entre 2000 e 2019, os países de renda alta reduziram o índice de óbitos por 100 mil habitantes de 14 para 8,4. Por outro lado, no mesmo período, os países de renda baixa mantiveram o índice acima de 26 e, em 2019, atingiram 28,3 óbitos por 100 mil habitantes, número 3,4 vezes maior do que o registrado em países de renda alta.

Além disso, os custos dos acidentes de trânsito para os países em desenvolvimento são de aproximadamente 3% a 5% do PIB [8]. Assim, a melhoria da Segurança Viária tem impactos sociais, econômicos e na saúde das populações de todo o mundo, mas impacta significativamente os países em desenvolvimento.

1.2 Panorama nacional

No Brasil, milhares de pessoas perdem a vida em acidentes de trânsito todos os anos. Comparando-se com o panorama mundial, observa-se que o Brasil apresenta um índice de óbitos por 100 mil habitantes um pouco menor do que a média global e um desempenho ligeiramente pior do que a média da América. Com exceção das regiões da África, que se destaca com 27,2, e da Europa, com 7,4, os índices de óbitos por 100 mil habitantes ficam entre 15 e 18, como apresentado no Gráfico 1.5.

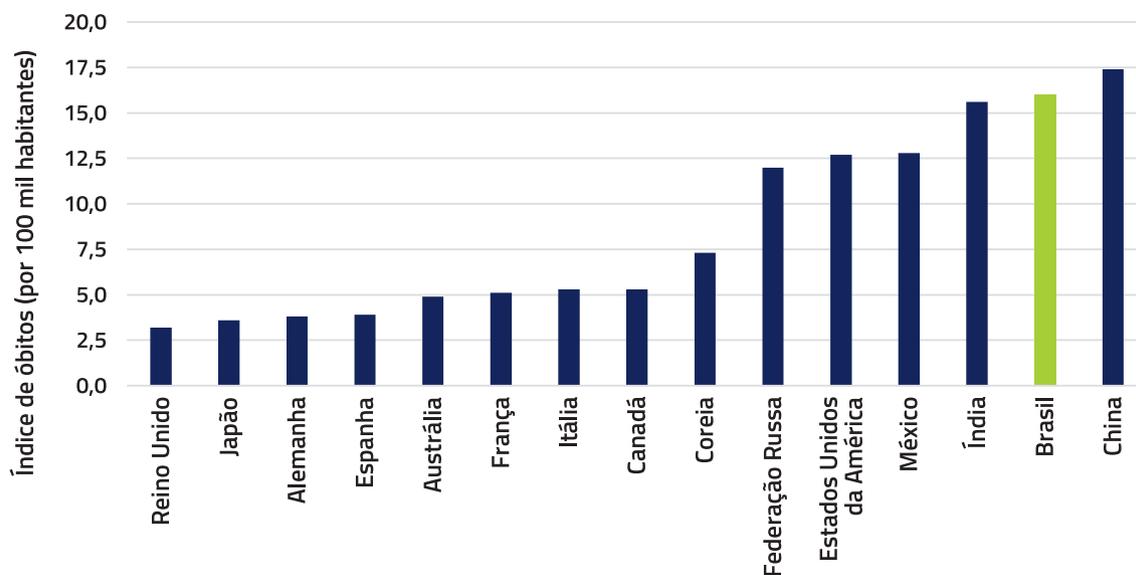
Gráfico 1.5: Índice de óbitos por 100 mil habitantes nas regiões da OMS, no Brasil e no mundo (2019)



Fonte: elaborado pelo autor com base em [5]

A OMS apresenta a relação do número de óbitos no trânsito por 100 mil habitantes de cada país [5]. No Gráfico 1.6, é possível observar que o Brasil ocupa a 14ª posição entre os quinze países com maior PIB do mundo², com desempenho próximo a países como Índia e China.

Gráfico 1.6: Índice de óbitos por 100 mil habitantes nos países com maior PIB do mundo (2019)

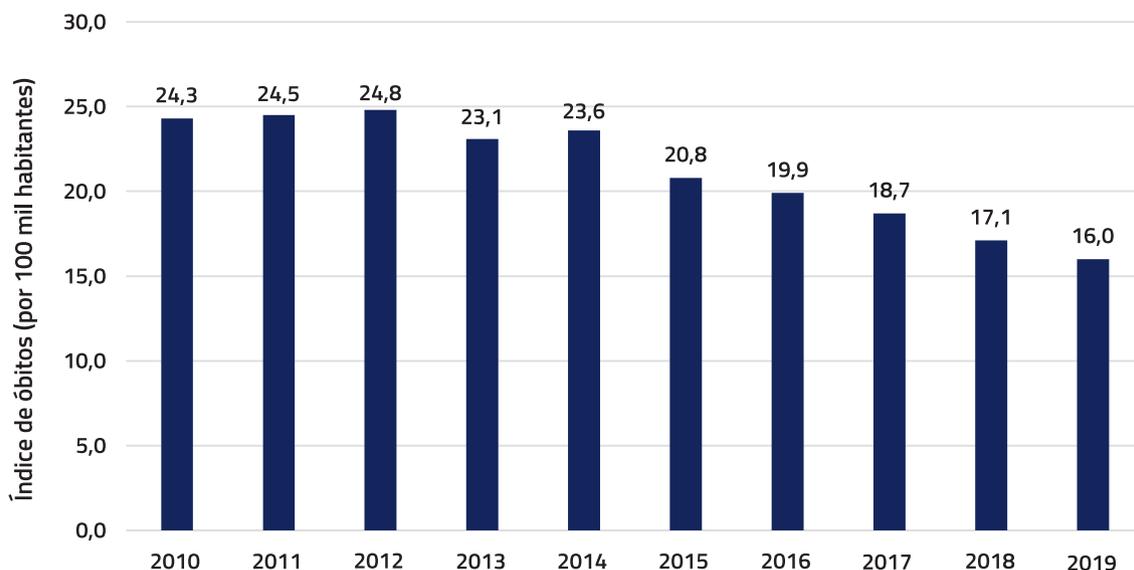


Fonte: elaborado pelo autor com base em [5]

Apesar de o Brasil seguir com índices de óbitos considerados altos em comparação aos países com maior PIB do mundo, o país tem apresentado tendência de queda dos óbitos em acidentes de trânsito a partir de 2012. Essa tendência pode ser vista no Gráfico 1.7, quando o índice diminuiu de 24,8 óbitos a cada 100 mil habitantes, em 2012, para 16,0, em 2019.

² O Brasil está entre os quinze países com maior PIB do mundo, segundo classificação do Banco Mundial. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?most_recent_value_desc=true>. Acesso em: 23 set. 2021.

Gráfico 1.7: Evolução do índice de óbitos por 100 mil habitantes no Brasil entre 2010 e 2019



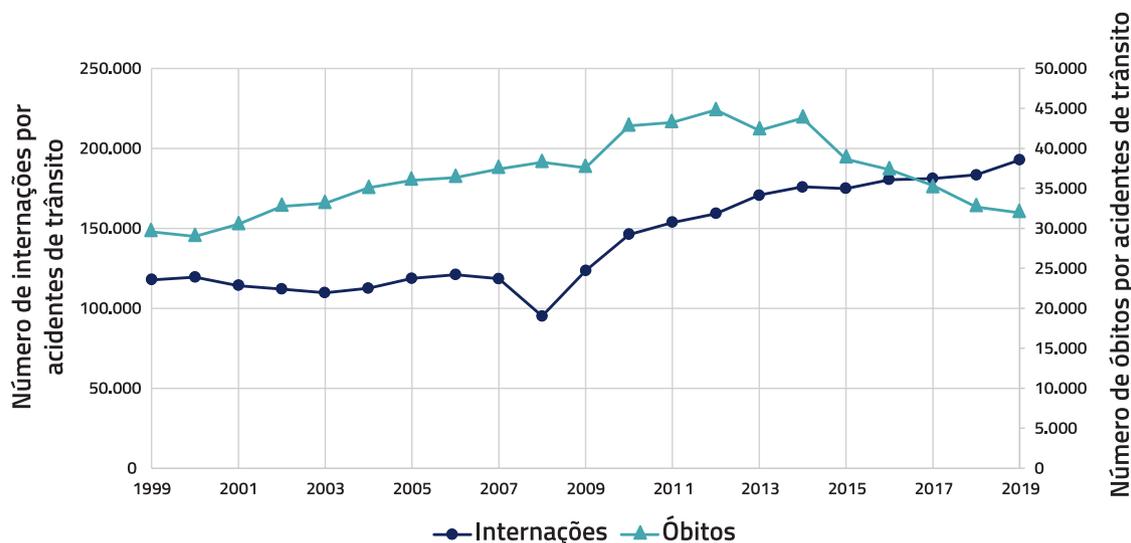
Fonte: elaborado pelo autor com base em [5]

Entre janeiro e dezembro de 2019, 31.945³ pessoas perderam a vida em acidentes de trânsito no Brasil, segundo a base de dados do Ministério da Saúde⁴ (DATASUS). Além do elevado número de óbitos, milhares de pessoas sofrem lesões decorrentes de acidentes de trânsito, necessitando de internação e atendimento hospitalar [9]. O Gráfico 1.8 apresenta a evolução do número de óbitos e do número de internações decorrentes de acidentes de trânsito no país, entre 1999 e 2019.

³ É importante ressaltar que os dados utilizados pela OMS têm subnotificações. Segundo os dados do relatório anual da Líder, administradora do seguro DPVAT, as mortes no trânsito são a décima principal causa de mortalidade do Brasil, com 40.721 vítimas em 2019. Isso mostra a discrepância dos dados, podendo elevar o índice de mortos por 100 mil habitantes no Brasil de 16,0 para 20,5, o que o colocaria bem acima da média mundial.

⁴ Considerando óbitos classificados de acordo com a base de dados do DATASUS como V01 a V99 — Acidentes de transporte [9].

Gráfico 1.8: Evolução do número de óbitos e internações no Brasil por acidentes de trânsito



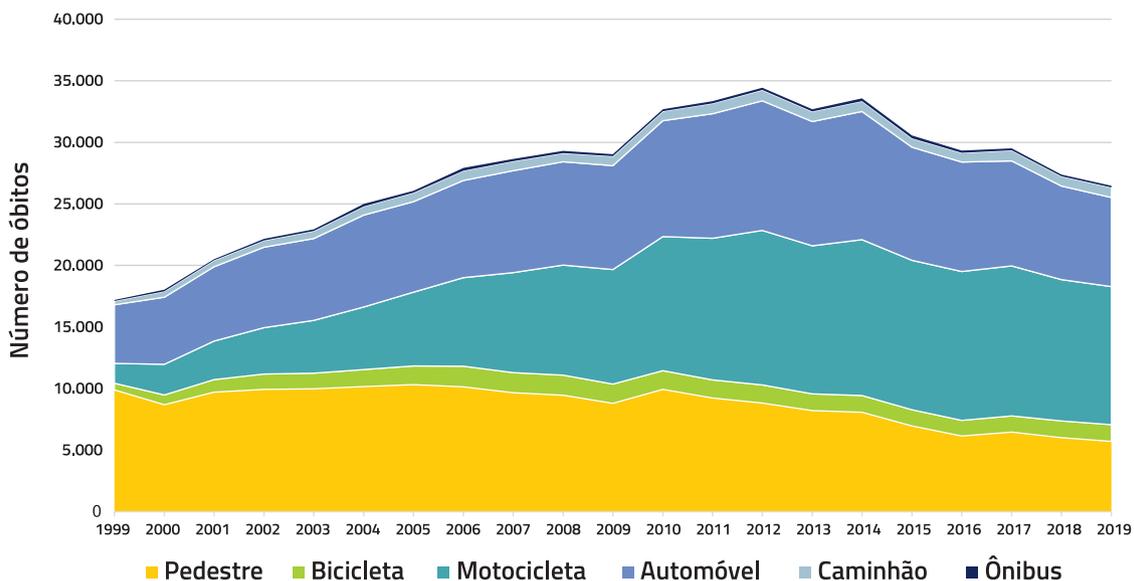
Fonte: elaborado pelo autor com base em [9]

É possível perceber uma redução consistente no número de fatalidades a partir de 2014. No entanto, quando consideradas as internações, nota-se que o número de lesionados no trânsito continua crescendo anualmente nos últimos 10 anos. Em 2019, o número de internações (187.644) foi aproximadamente seis vezes maior do que o número de óbitos.

Vale ressaltar que a mobilidade é substancialmente influenciada pela variação econômica. Assim, nota-se que em períodos de crescimento econômico o número de acidentes tende a aumentar, devido ao aumento no volume de veículos trafegando. Enquanto em períodos de retração econômica, o número de acidentes tende a diminuir.

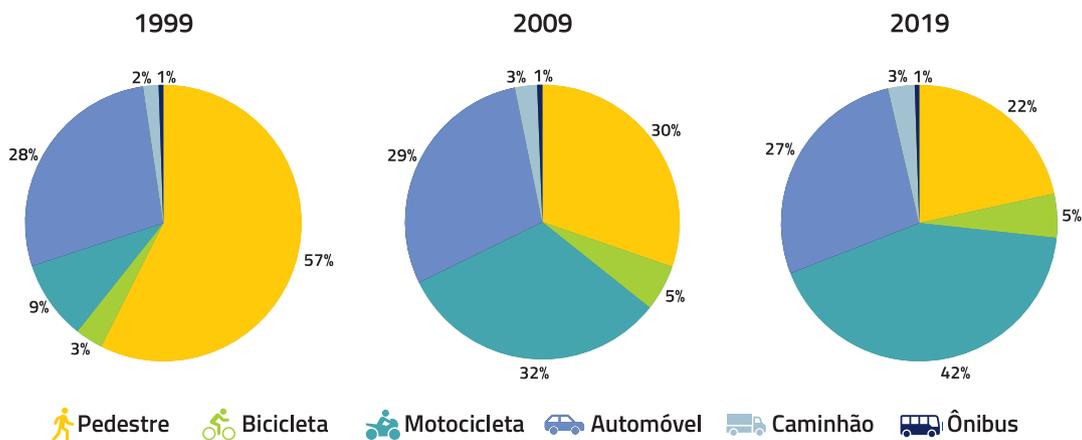
O Gráfico 1.9 apresenta o número de óbitos por tipo de veículo entre 1999 e 2019, em que é possível verificar a variação das fatalidades para diferentes usuários ao longo dos anos, em especial o aumento expressivo de motociclistas entre os acidentados. Por outro lado, verifica-se uma diminuição de pedestres vitimados, tanto em valores absolutos, como mostra o Gráfico 1.9, quanto em porcentagem do número total de óbitos, apresentada no Gráfico 1.10.

Gráfico 1.9: Evolução dos óbitos no Brasil⁵, por tipo de veículo⁶



Fonte: elaborado pelo autor com base em [9]

Gráfico 1.10: Evolução do perfil das vítimas fatais de acidente de trânsito no Brasil



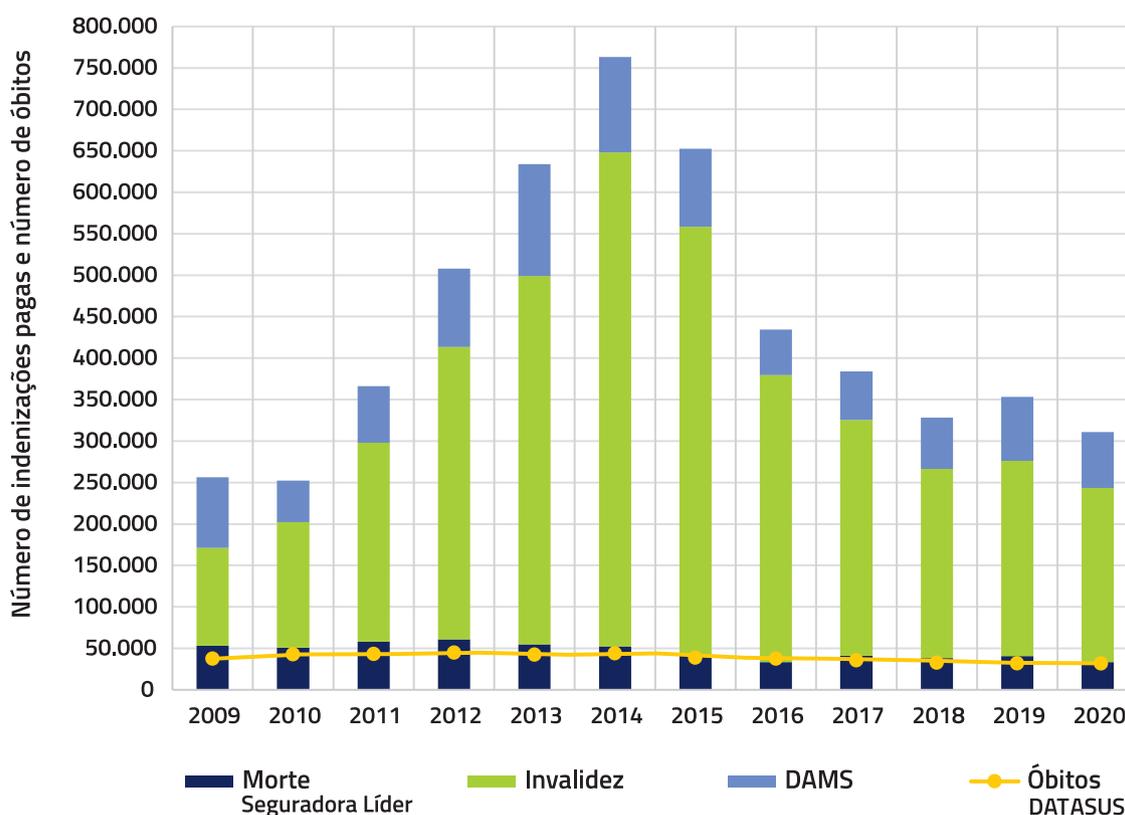
Fonte: elaborado pelo autor com base em [9]

⁵ Dados de óbitos do Ministério da Saúde (DATASUS) apresentam subnotificações. Segundo relatório da Líder, esses valores são mais altos, superando 50.000 óbitos entre os anos de 2005 e 2014.

⁶ Considerando óbitos classificados de acordo com a base de dados do DATASUS como Acidentes de transporte (V01 a V99). Não estão contemplados óbitos das categorias V80 a V99 [9].

Assim como o número de óbitos registrados, o número de indenizações apresentou tendência de queda a partir de 2014 [10], como pode ser observado no Gráfico 1.11. Categorizando a natureza das indenizações pagas pela Seguradora Líder aos acidentados, percebe-se que invalidez permanente se destaca com o maior número de indenizações todos os anos, seguida por despesas de assistência médica e suplementares (DAMS). O Gráfico 1.11 ainda apresenta o número de óbitos por ano, segundo a base de dados do DATASUS [9].

Gráfico 1.11: Natureza das indenizações pagas e número de óbitos registrados no Brasil



Fonte: elaborado pelo autor com base em [9], [10]

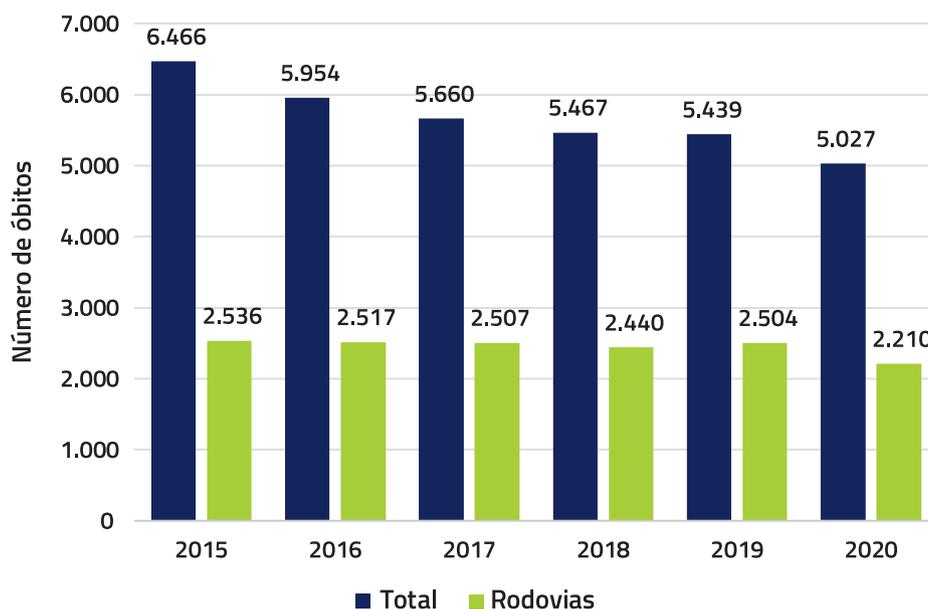
Entre 2009 e 2014, as indenizações pagas por morte ultrapassaram 50 mil, número superior ao registrado nas bases do Ministério da Saúde. As diferenças entre as bases podem ocorrer devido à forma e ao período de registro dos óbitos. Assim, os dados devem ser comparados e utilizados com cautela. Mais informações sobre uso e tratamento de dados podem ser encontradas no “Capítulo 5 — Uso e tratamento de dados de acidentes”.

Em 2020 as indenizações pagas⁷ totalizaram 310.710 no ano, sendo 10,8% por morte, 21,6% por despesas médicas e 67,6% por invalidez permanente [10]. De todas as indenizações, 79,0% estão relacionadas a acidentes envolvendo motociclistas, o que corresponde a 245.551 das indenizações em 2020.

1.3 Panorama estadual

Na rede viária urbana e em rodovias do estado de São Paulo, o número total de óbitos decorrentes de acidentes de trânsito teve uma redução de 22% entre 2015 e 2020, como pode ser observado no Gráfico 1.12. Considerando-se apenas os óbitos decorrentes de acidentes rodoviários, observa-se que a redução foi menor, da ordem de 13%. No Gráfico 1.12, “Total” refere-se ao número de óbitos notificados na rede viária urbana e em rodovias paulistas.

Gráfico 1.12: Óbitos causados por acidente de trânsito no estado de São Paulo



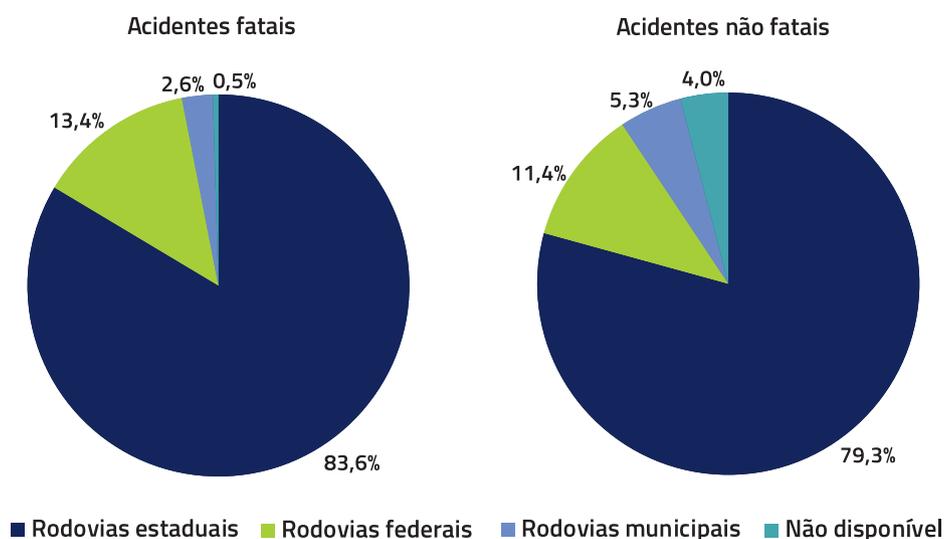
Fonte: elaborado pelo autor com base em [11]

⁷ As indenizações pagas em 2020 referem-se a acidentes ocorridos até três anos antes, segundo a Seguradora Líder.

Com relação à distribuição dos acidentes de acordo com o tipo de via, destaca-se que 42% dos acidentes fatais ocorridos em 2020 foram em rodovias, enquanto, dos acidentes não fatais, apenas 16% aconteceram nesse tipo de via [11].

Dentro do universo de acidentes ocorridos em rodovias, a porcentagem de acidentes em rodovias sob administração estadual é elevada. Apesar de corresponderem a apenas 11% da malha rodoviária do estado de São Paulo, que apresenta uma extensão de 199.975 km [12], 83,6% dos acidentes fatais e 79,3% dos acidentes não fatais em rodovias ocorreram em rodovias estaduais, como pode ser observado no Gráfico 1.13.

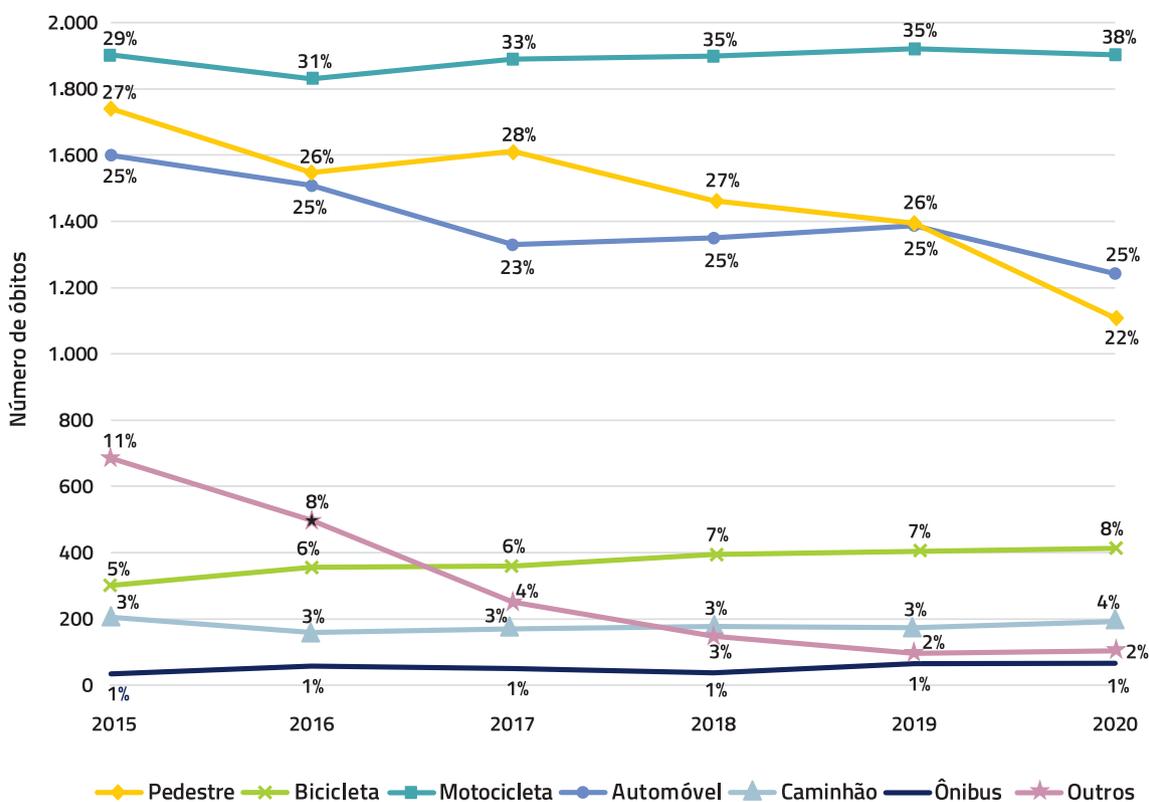
Gráfico 1.13: Acidentes fatais e não fatais no estado de São Paulo, por administração das rodovias (2020)



Fonte: elaborado pelo autor com base em [11]

Das vítimas fatais dos acidentes de trânsito, entre 2015 e 2020, os motociclistas são a maior parcela, seguidos dos pedestres e dos ocupantes de automóveis, conforme o Gráfico 1.14 apresenta. Nota-se também um aumento no número de ciclistas acidentados nesse período. Considerando apenas os usuários vulneráveis (pedestres e ciclistas), eles representaram 30% das vítimas de trânsito no estado de São Paulo, em 2020.

Gráfico 1.14: Perfil das vítimas fatais no estado de São Paulo, por tipo de veículo, entre 2015 e 2020⁸

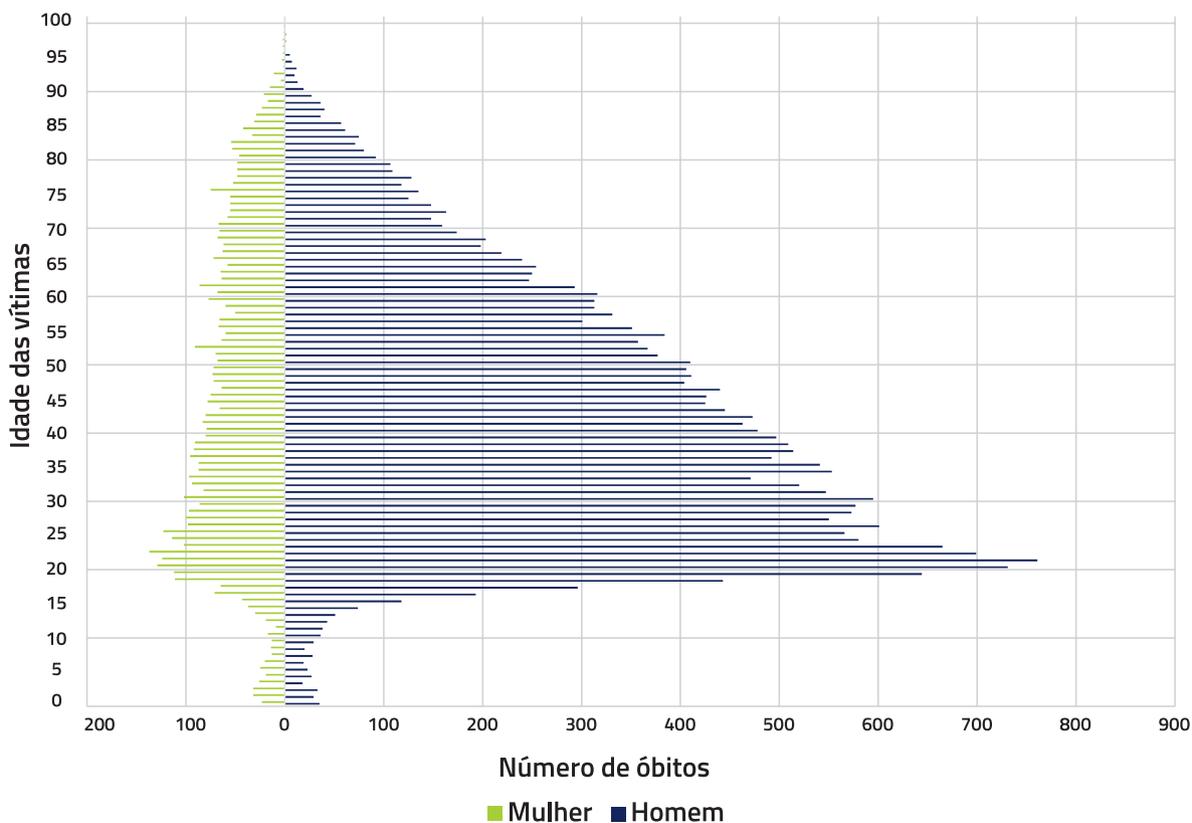


Fonte: elaborado pelo autor com base em [11]

O panorama estadual, assim como o observado em nível nacional e internacional, é ainda mais preocupante quando se considera a idade das vítimas fatais. O Gráfico 1.15 apresenta o perfil das vítimas fatais para todas as ocorrências registradas no período entre 2015 e 2020. Nota-se uma grande concentração de vítimas jovens, com idade entre 15 e 30 anos, que representam 32% dos óbitos no estado de São Paulo. Além da questão da idade, é possível perceber uma diferença expressiva no sexo das vítimas fatais, sendo a maioria homens (76% das mortes).

⁸ As porcentagens indicadas no gráfico referem-se à participação do perfil da vítima no total de fatalidades por ano. Dessa forma, um mesmo número de óbitos pode corresponder a porcentagens diferentes a depender do ano de referência.

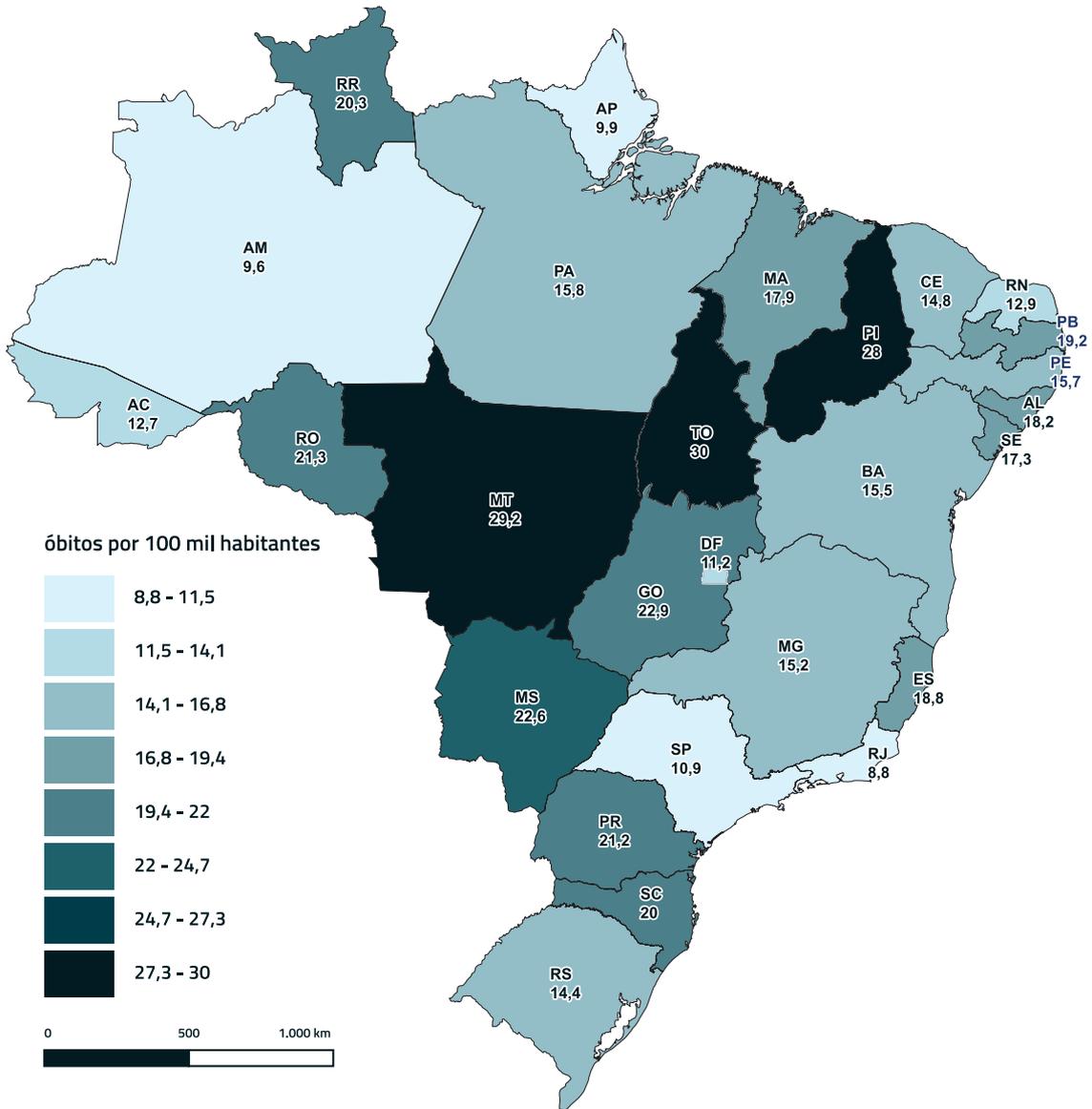
Gráfico 1.15: Perfil das vítimas fatais no estado de São Paulo, por idade e sexo, entre 2015 e 2020



Fonte: elaborado pelo autor com base em [11]

Apesar do panorama apresentado, São Paulo é o quarto estado com o menor índice de óbitos por 100 mil habitantes no Brasil, conforme ilustrado na Figura 1.1. No entanto, apresenta o maior número absoluto de óbitos: 4.995 [9]. O estado de São Paulo, com um índice de 10,9 óbitos por 100 mil habitantes, fica atrás dos estados do Rio de Janeiro, Amazonas e Amapá, todos com menos de 10 óbitos por 100 mil habitantes. O estado também apresenta um índice menor do que a média nacional, de 15,2 óbitos por 100 mil habitantes.

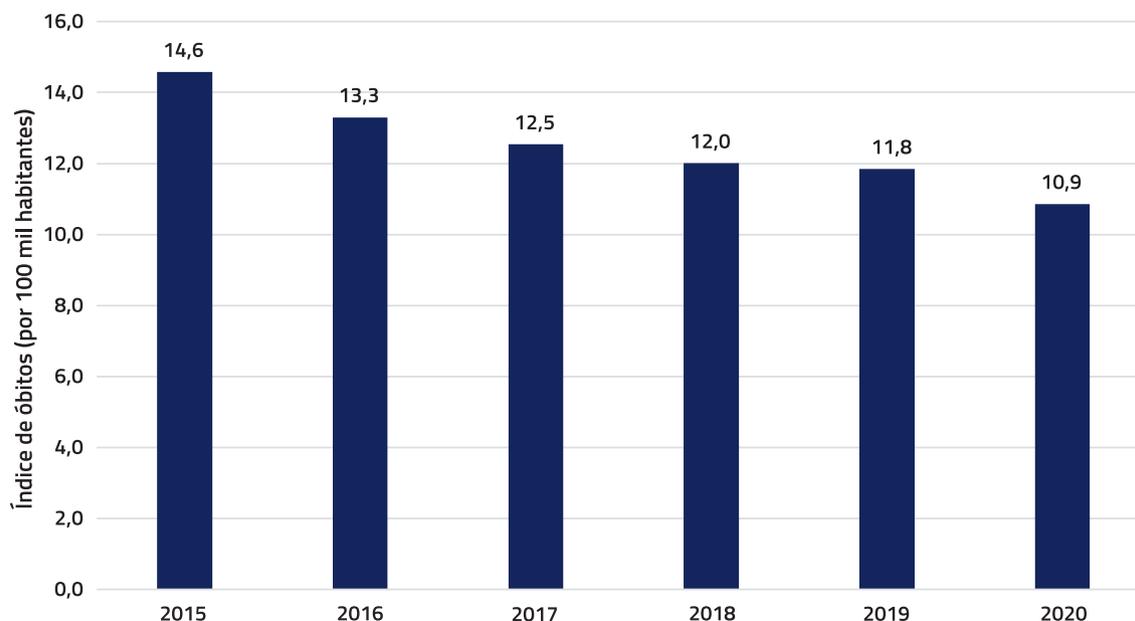
Figura 1.1: Índice de óbitos por 100 mil habitantes nas unidades federativas do Brasil (2019)



Fonte: elaborado pelo autor com base em [9], [13]

Verifica-se no Gráfico 1.16 que os índices de óbitos por 100 mil habitantes no estado de São Paulo, entre os anos de 2015 e 2020, apresentam tendência de queda.

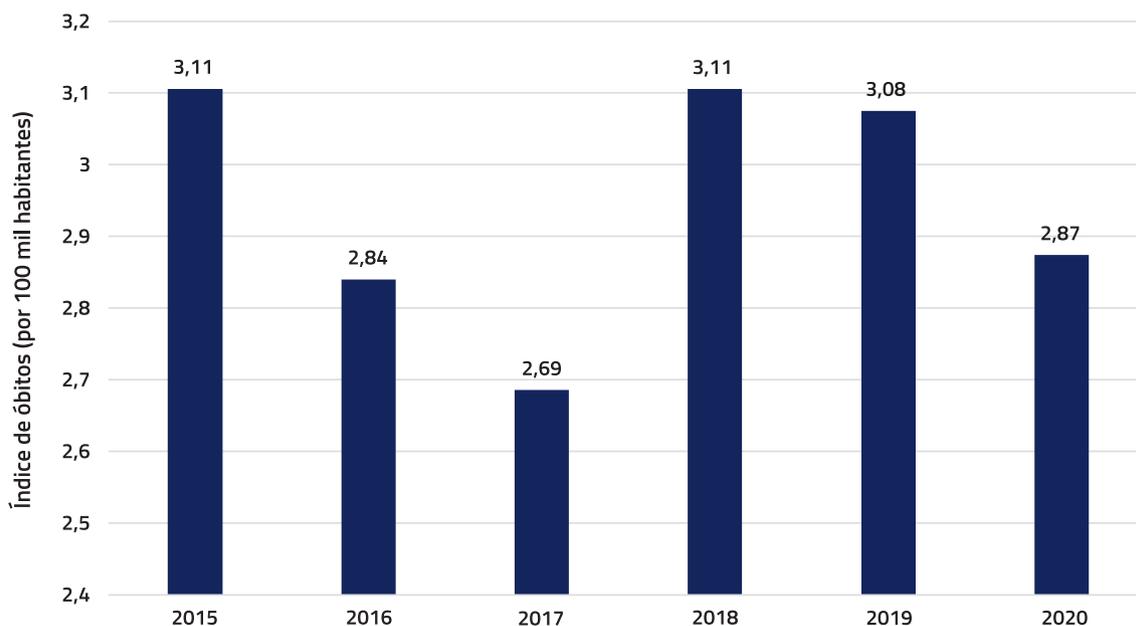
Gráfico 1.16: Índice de óbitos por 100 mil habitantes no estado de São Paulo, entre 2015 e 2020



Fonte: elaborado pelo autor com base em [11], [13]

O Gráfico 1.17 apresenta os índices de óbitos por 10 mil veículos entre 2015 e 2020.

Gráfico 1.17: Índice de óbitos por 10 mil veículos no estado de São Paulo, entre 2015 e 2020

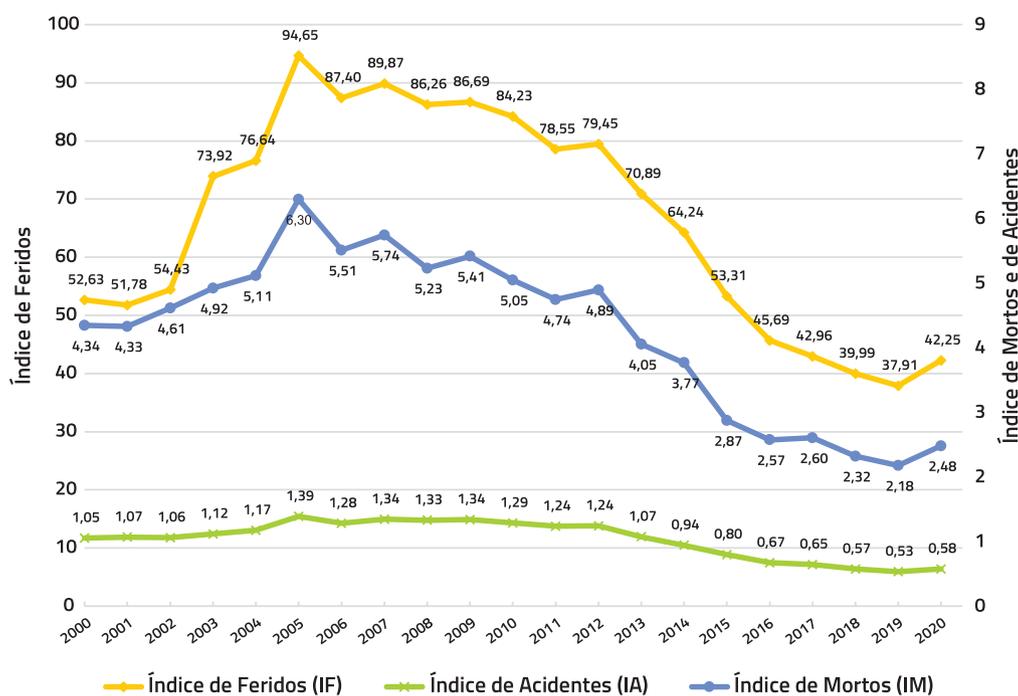


Fonte: elaborado pelo autor com base em com base em [11], [14], [15], [16], [17], [18]

Os índices de óbitos por 10 mil veículos são afetados significativamente pela atuação da frota circulante. A frota circulante do Sindipeças é calculada por meio da aplicação de uma curva de sucateamento⁹. Essa curva foi reajustada no ano de 2018, a partir de um estudo extraordinário realizado em 2017, quando observou-se que a idade média da frota circulante estava muito alta. Assim, entre os anos de 2017 e 2018, a frota circulante calculada pelo Sindipeças no estado de São Paulo apresentou uma queda de aproximadamente 15%, resultando em um aumento no índice de óbitos por 10 mil veículos nesse período.

O Gráfico 1.18 apresenta a evolução dos Índice de Feridos, Índice de Acidentes e Índice de Mortos nas rodovias administradas pelo DER/SP, que consideram a exposição ao risco por segmento homogêneo.

Gráfico 1.18: Índice de Feridos (IF), Índice de Acidentes (IA) e Índice de Mortos (IM) nas rodovias estaduais de São Paulo, entre 2000 e 2020¹⁰



Fonte: elaborado pelo autor

⁹ É possível utilizar outras fontes de dados para o cálculo do índice de óbitos por 10 mil veículos, como a frota do DENATRAN. Essa frota é calculada a partir de veículos emplacados, e não considera o sucateamento de veículos. Dessa forma, os índices de óbitos por 10 mil veículos podem apresentar valores muito abaixo do real.

¹⁰ A ARTESP utiliza a mesma metodologia para calcular esses índices para rodovias concessionadas, porém os resultados podem apresentar diferenças, uma vez que as bases de dados são diferentes.

A exposição ao risco por segmento homogêneo corresponde ao produto entre o Volume Diário Médio (VDM), a extensão do segmento e o período analisado. As metodologias de cálculo são apresentadas no “Capítulo 3 — Acidentalidade”.

Tendo em vista os custos econômicos e sociais dos acidentes de trânsito, diversas ações e projetos foram desenvolvidos com o objetivo de melhorar a Segurança Viária em São Paulo. O Governo do Estado de São Paulo, buscando auxiliar a elaboração de políticas públicas relacionadas à segurança no trânsito, criou o INFOSIGA SP, uma extensa base de dados georreferenciados, apresentados no Infomapa SP¹¹. Essa ferramenta disponibiliza uma base de dados de informações relacionadas a acidentes de trânsito, provenientes de diferentes fontes, como Polícia Rodoviária Federal (PRF), Polícia Civil e Polícia Militar Rodoviária (PMRv). As informações disponibilizadas são atualizadas mensalmente e permitem traçar um diagnóstico mais preciso dos acidentes de trânsito ocorridos no estado de São Paulo, auxiliando na elaboração de políticas públicas mais eficazes no fortalecimento da Segurança Viária. O INFOSIGA SP integra o Programa Respeito à Vida, criado e gerido pelo Governo do Estado de São Paulo, e mobiliza a sociedade civil por meio de parcerias com empresas e associações do setor privado, além de entidades do terceiro setor [19].

1.4 A abordagem da Segurança Viária

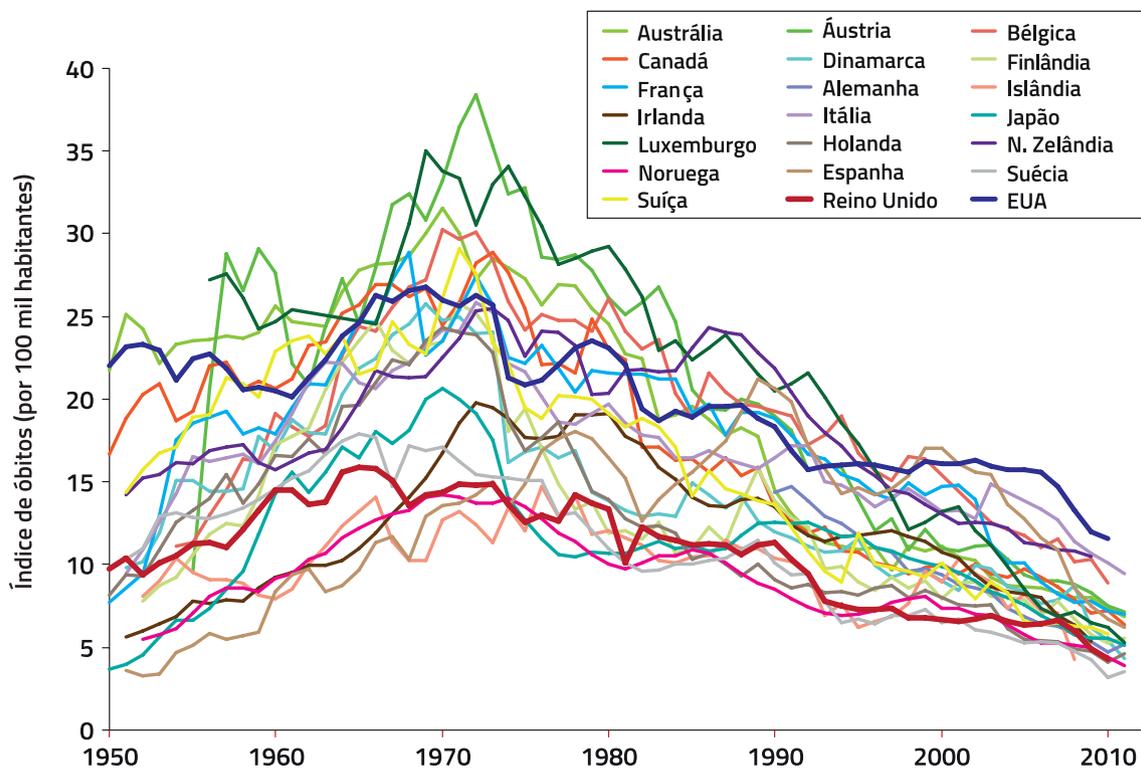
As iniciativas para promover e monitorar a Segurança Viária surgiram nos países desenvolvidos entre os anos 1950 e 1960. Entre 1950 e 2010, observou-se um comportamento padrão nesses países: aumento do número de acidentes até o final da década de 1960, iniciando-se, então, um declínio, conforme apresentado no Gráfico 1.19. Isso significa que, a partir das ações desenvolvidas em prol da Segurança Viária, houve um decréscimo no número de acidentes.

Observa-se que nas últimas décadas houve uma redução considerável no número de mortes no trânsito em países com alto índice de motorização, como EUA, Japão, Austrália, Nova Zelândia e países europeus. O progresso na Segurança Viária é atribuído à implementação de contramedidas, sejam elas relacionadas à infraestrutura, aos

¹¹ Disponível em: <http://painelderesultados.infosiga.sp.gov.br/mapa/>

veículos ou ao comportamento do usuário. Desse modo, mesmo com o aumento substancial da motorização no período de 1970 a 2005, observou-se uma redução de mais de 50% nas taxas de mortalidade dos países com melhor desempenho [20].

Gráfico 1.19: Evolução do índice de óbitos no trânsito em países desenvolvidos, entre 1950 e 2010¹²



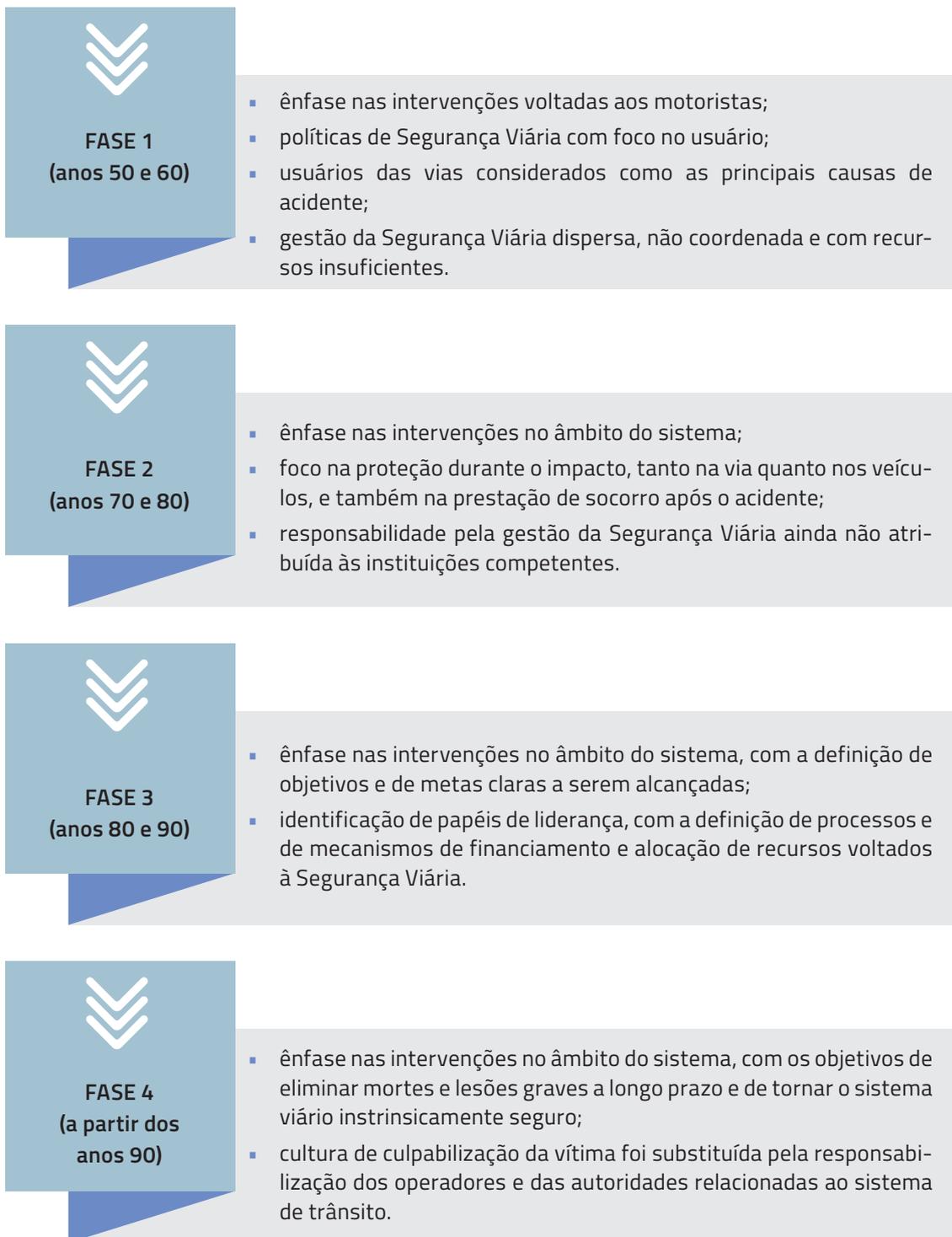
Fonte: traduzido de [20]

Compreender porque essa redução ocorreu é fundamental para os profissionais de Segurança Viária dos países em desenvolvimento, como o Brasil, a fim de aprender com as boas práticas internacionais e com os resultados das contramedidas de segurança adotadas.

A abordagem do tratamento de problemas relacionados à Segurança Viária evoluiu ao longo do tempo, sendo marcada por quatro fases importantes, como indicado na Figura 1.2 [21].

¹² Gráfico apresentado a título ilustrativo, a fim de apresentar a mudança de tendência na taxa de mortalidade no trânsito nos países desenvolvidos.

Figura 1.2: Fases da abordagem da Segurança Viária



Fonte: elaborado pelo autor com base em [21]

Como se observa, o foco da abordagem foi sendo ampliado e deslocado ao longo dos anos: inicialmente centrado na figura do condutor para atualmente abarcar o conceito de sistema, envolvendo diversos atores, desde usuários até gestores e técnicos.

O enfoque nos usuários vulneráveis é cada vez maior e também são considerados os impactos dos dispositivos eletrônicos e de sistemas inteligentes. Por fim, entende o envelhecimento da população como sendo um novo desafio ao sistema de transportes, o qual deverá se adaptar às limitações dos motoristas, ciclistas e pedestres mais velhos [20].

Na visão mais recente, a Segurança Viária atua de forma a atender o objetivo de redução de acidentes e da sua severidade, desenvolvendo projetos com características que preservem a integridade física dos usuários e dos bens materiais. Ela deve ser incorporada em todo o ciclo de vida das vias, desde a concepção, projeto e construção, até a manutenção e operação [22].

A abordagem do Sistema Seguro redirecionou a gestão da Segurança Viária. Essa abordagem considera que os seres humanos cometem erros ao utilizar o sistema de transportes e são vulneráveis a lesões em caso de acidentes. Portanto, o sistema viário deve ser projetado para que as consequências das falhas humanas sejam minimizadas. Assim, a responsabilidade é compartilhada entre projetistas, gestores, operadores, autoridades governamentais e usuários.

Um dos elementos centrais da abordagem do Sistema Seguro é o estabelecimento de metas. Metas de Segurança Viária facilitam a definição de prioridades e a implantação de medidas efetivas para reduzir acidentes. Devem ser estabelecidas metas ambiciosas, porém realistas, a fim de medir o desempenho, além de garantir a responsabilização e a prestação de contas. A abordagem do Sistema Seguro é explicada com mais detalhes no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias”.

1.4.1 *A Década de Ação para a Segurança no Trânsito*

Em maio de 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas reconheceu o fardo que as fatalidades e lesões decorrentes de acidentes de trânsito representam à sociedade, constituindo-se um problema de saúde pública com consequências econômicas e sociais [23].

Devido ao aumento contínuo de fatalidades e feridos no sistema viário, onde a mortalidade é consideravelmente mais alta do que em outros tipos de sistema de transporte, a Assembleia Geral das Nações Unidas determinou o período entre 2011 e 2020 como a Década de Ação para a Segurança no Trânsito. Seu objetivo era atingir uma redução mundial de, pelo menos, 50% das mortes em acidentes de trânsito projetadas para 2020, mediante a formulação de atividades na esfera nacional, regional e mundial [23].

Introduzir uma década para ação tinha como objetivo encorajar compromissos políticos e estimular alocação de recursos para melhorar a Segurança Viária [24]. Além disso, a Assembleia Geral atribuiu à OMS a responsabilidade pelo estabelecimento do plano de ação para a Década. Esse plano deveria servir como um documento para guiar e embasar a implementação dos seus objetivos [23].

Em seu Plano Global para a Década, a OMS determinou que os princípios orientadores fossem aqueles da abordagem do Sistema Seguro, definindo que as ações para a Década deveriam ser realizadas em nível local, nacional, regional e mundial, estando o foco primeiramente em ações nos níveis local e nacional [24]. Dentro das disposições legais de cada governo local e nacional, os países foram encorajados a implementar atividades a partir de cinco pilares:

- gestão da Segurança no Trânsito;
- vias mais seguras e mobilidade;
- veículos mais seguros;
- usuários mais seguros;
- resposta pós-acidente (atendimento às vítimas).

Alinhado com a Década de Ação para a Segurança no Trânsito, o Governo do Estado de São Paulo criou o Programa Respeito à Vida, para promover ações com o objetivo de reduzir os acidentes de trânsito. Além disso, houve uma redução de 42% no Índice de Acidentes, 41% no Índice de Feridos e 50% no Índice de Mortos entre 2000 e 2020, segundo dados do Programa de Redução de Acidentes, com diretrizes e metas estabelecidas pela ARTESP [25].

1.4.2 Segunda Década de Ação para a Segurança no Trânsito

Diante dos resultados obtidos na primeira Década de Ação, a Assembleia Geral reconheceu a necessidade de estabelecer um novo período para a redução nas mortes e lesões no trânsito, tendo em vista o final da Década de Ação em 2020. Assim, foi declarada a Segunda Década de Ação para a Segurança no Trânsito no período de 2021 a 2030, com o objetivo de reduzir mortes e lesões no trânsito em pelo menos 50% nesse período.

Embora o progresso na redução do número de mortes no trânsito não tenha atendido às expectativas globais da primeira Década de Ação para a Segurança no Trânsito, há sinais de melhora. O principal desafio para o futuro próximo será a aceleração dessa taxa de melhoria, usufruindo dos benefícios de uma legislação eficaz, veículos mais seguros, vias mais seguras e aumento ao acesso a cuidados de emergência rápidos e eficazes. Há uma necessidade urgente de os governos aumentarem seus esforços de segurança no trânsito, a fim de cumprir seus compromissos assumidos na Agenda de Desenvolvimento Sustentável 2030.

Como resultado da 3ª Conferência Mundial sobre Segurança Viária, realizada em fevereiro de 2020, foi elaborada a Declaração de Estocolmo, a qual apresenta diretrizes para atingir o objetivo da Segunda Década de Ação. Nessa declaração, destacou-se a necessidade de promover uma abordagem integrada à Segurança Viária, particularmente um Sistema Seguro e a Visão Zero. O documento também salienta, como medidas para promover a Segurança Viária, a importância de campanhas que conscientizam sobre os riscos de dirigir após a ingestão de álcool e para a promoção de velocidades seguras de 30 km/h nas vias urbanas [26].

Em agosto de 2020, a Assembleia Geral das Nações Unidas em sua 74ª sessão reconheceu as lições aprendidas na década de 2011–2020, como a necessidade de promover uma abordagem integrada para a segurança no trânsito. Essa abordagem deve buscar soluções sustentáveis e de longo prazo, fortalecendo colaborações intersetoriais nacionais e incluindo o compromisso com organizações não governamentais, sociedade civil e academia, assim como empresas e indústrias.

Na esfera nacional, em 2021, o SENATRAN iniciou os trabalhos de revisão do Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS). O PNATRANS foi instituído pela Lei nº 13.614 de 11 de janeiro de 2018 e regulamentado pela Resolução CONTRAN nº 740 de 12 de setembro de 2018 na qual são descritas 157 ações voltadas para o seu objetivo principal: reduzir, ao final do prazo de 10 anos, no mínimo em 50% o número de mortes e lesões no trânsito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CHILE, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad. **Manual de Carreteras: Seguridad Vial**. v. 06. Chile, 2014
- [2] HERBEL, Susan; LAING, Lorrie; MCGOVERN, Colleen. **Highway Safety Improvement Program (HSIP) Manual**. Federal Highway Administration, Department of Transportation. Cambridge, MA, Estados Unidos, 2010
- [3] WELLE, Ben et al. **Sustentável e Seguro: Visão e Diretrizes para Zerar as Mortes no Trânsito**. World Resources Institute (WRI). Brasil, 2018. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/sustentavel-e-seguro-visao-e-diretrizes-para-zerar-mortes-no-transito>. Acesso em: 12 nov. 2020
- [4] Organização Mundial da Saúde (OMS). **Global Status Report on Road Safety**. Geneva, Suíça, 2018
- [5] Organização Mundial da Saúde (OMS). **Global Health Observatory data repository: Road Traffic Deaths**. Geneva, Suíça, 2021. Disponível em: <https://apps.who.int/gho/data/view.main.RoadTrafficDeathWB?lang=em>. Acesso em: 12 nov. 2020
- [6] Organização Mundial da Saúde (OMS). **The Global Health Observatory: Global health estimates: Leading causes of death**. Geneva, Suíça, 2019. Disponível em: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/gho-leading-causes-of-death>. Acesso em: 12 nov. 2020
- [7] Banco Mundial, **World Bank Country and Lending Groups: World Bank Data Help Desk**. Disponível em: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519>. Acesso em: 23 nov. 2020
- [8] Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS). **Segurança no Trânsito nas Américas**. Washington, DC, Estados Unidos, 2016. Disponível em: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/31315/9789275719121-por.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 set. 2022
- [9] BRASIL, Ministério da Saúde, DATASUS, Tecnologia da Informação a Serviço do SUS, Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM). **Óbitos por Causas Externas**. Brasil, 2020. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/ext10uf.def>. Acesso em: 13 nov. 2020
- [10] Seguradora Líder, **Relatório Anual**. Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.seguradoralider.com.br/Sala-de-Imprensa/Boletim-Estatistico>. Acesso em: 8 jul. 2021

- [11] SÃO PAULO, Governo do Estado de São Paulo, INFOSIGA SP. **Painel de Resultados: Relatórios**. Disponível em: <http://painelderesultados.infosiga.sp.gov.br/>. Acesso em: 17 nov. 2020
- [12] SÃO PAULO, Governo do Estado de São Paulo, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Extensão: Malha Rodoviária do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/MalhaRodoviaria/ExtensaoMalha2021.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2021
- [13] BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). **Estimativa de População: Tabela 6579 — População Residente Estimada**. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>. Acesso em: 19 nov. 2020
- [14] BRASIL, Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS); Associação Brasileira da Indústria de Autopeças (ABIPEÇAS). **Relatório da Frota Circulante 2017**.
- [15] BRASIL, Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS); Associação Brasileira da Indústria de Autopeças (ABIPEÇAS). **Relatório da Frota Circulante 2018**.
- [16] BRASIL, Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS); Associação Brasileira da Indústria de Autopeças (ABIPEÇAS). **Relatório da Frota Circulante: Edição de 2019**.
- [17] BRASIL, Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS); Associação Brasileira da Indústria de Autopeças (ABIPEÇAS). **Relatório da Frota Circulante: Edição 2020**.
- [18] BRASIL, Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS); Associação Brasileira da Indústria de Autopeças (ABIPEÇAS). **Relatório da Frota Circulante: Edição 2021**.
- [19] SÃO PAULO, Governo do Estado de São Paulo, INFOSIGA SP. **Sobre: Respeito à Vida, Governo do Estado de São Paulo**.
- [20] TIWARI, G.; MOHAN, D. **Transport Planning and Traffic Safety: Making Cities, Roads, and Vehicles Safer**. CRC Press, 2016.
- [21] HAKKERT, A. Shalom; GITELMAN; Victoria. **Thinking About the History of Road Safety Research: Past Achievements and Future Challenges**. Transportation Research Part F 25 (2014), 137–149. Israel, 2014. doi: 10.1016/j.trf.2014.02.005
- [22] Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), International Transport Forum (ITF). **Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach**. 2008. doi: 10.1787/9789282101964-en
- [23] Organização Mundial da Saúde (OMS). **Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020**. Geneva, Suíça, 2010. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2011-2020>. Acesso em: 23 set. 2022

- [24] Assembleia Geral das Nações Unidas. **Resolução 64/255: Improving global road safety.** Nova Iorque, Estados Unidos, 2 mar. 2010. Disponível em: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N09/477/13/PDF/N0947713.pdf?OpenElement>. Acesso em: 23 set. 2022
- [25] SÃO PAULO, Agência de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP). **Programa de Redução de Acidentes.** Disponível em: <http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/rodovias/programa-de-reducao-de-acidentes.aspx>. Acesso em: 15 ago. 2022
- [26] Organização Mundial da Saúde (OMS); Comissões Regionais das Nações Unidas. **Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2021-2030.** Geneva, Suíça, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>. Acesso em: 23 set. 2022



CARÁTER MULTIDISCIPLINAR DA SEGURANÇA VIÁRIA

Tradicionalmente, a Segurança Viária tem sido analisada com base em três componentes: vias seguras, veículos seguros e usuários seguros¹. As interações entre esses fatores, assim como falhas individuais de cada um deles, propiciam situações com potencial para a ocorrência de acidentes. Desse modo, políticas de Segurança Viária devem ser previstas levando em consideração todos esses fatores, podendo envolver diversas áreas de atuação além da engenharia em si, como educação, direito, legislação, saúde, fiscalização, entre outras.

A área legislativa é responsável por elaborar leis e normas de trânsito. Atuam em solicitações e julgamentos de indenização por danos físicos e materiais advindos de acidentes e são, ainda, responsáveis pelos recursos e julgamentos sobre penalidades de trânsito.

As áreas relacionadas à saúde (medicina, enfermagem, fisioterapia, odontologia) são responsáveis pelo tratamento das vítimas de acidentes, prestando primeiros socorros e atendimento para reabilitação. Além disso, essas áreas são encarregadas

¹ As relações entre estes três componentes (pessoa–via–veículo) são abordadas no “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”.

da realização de exames físicos e psicológicos para verificar a aptidão dos motoristas a dirigir.

A área educacional é voltada para cursos de capacitação de motoristas, de educação no trânsito para crianças e adultos e demais cursos que podem reforçar o comportamento seguro e o respeito às regras de trânsito, de modo a minimizar a ocorrência dos acidentes e a sua severidade, quando esses ocorrem.

A área da engenharia, por sua vez, é responsável pela elaboração de planos viários, pela qualidade da construção e manutenção das vias e pelas rotinas operacionais. Essa área também é encarregada da elaboração de critérios de projeto das vias, analisando seus efeitos na segurança, além de atuar em melhorias de segurança dos veículos.

Outras áreas são responsáveis pela fiscalização, pelo acompanhamento das transformações do uso do solo e da densidade ocupacional lindeira às rodovias e por identificar novos desejos de viagem, que podem alterar as características originais do uso da via.

As diferentes áreas de atuação evidenciam que ações voltadas para a Segurança Viária podem ser destinadas a diferentes etapas de um acidente, seja no sentido de evitar a ocorrência de acidentes (período pré-acidente), de minimizar sua severidade quando esses ocorrem (momento do acidente) ou de mitigar as consequências para os usuários e para a operação (período pós-acidente).

A busca pela redução de acidentes é um processo contínuo e a Segurança Viária é um campo do conhecimento em constante desenvolvimento. Cabe, então, aos legisladores, planejadores, operadores e tomadores de decisão certificarem que os diferentes componentes (vias, veículos e usuários) apresentem condições adequadas à Segurança Viária em todas as etapas de eventuais ocorrências.

Neste capítulo são apresentadas as principais áreas de atuação dedicadas à Segurança Viária, com destaque para a área de engenharia, que é o objeto central deste Manual. Além disso, é apresentado o processo tradicional do Gerenciamento da Segurança Viária e a metodologia da análise sistêmica.

2.1 Pilares da Segurança Viária

As ações voltadas para a Segurança Viária tradicionalmente têm sido divididas em três grandes áreas de atuação: a engenharia (*engineering*), a educação (*education*) e o esforço legal (*enforcement*). Essas áreas destacam-se como os três pilares na abordagem da Segurança Viária, sendo também conhecidos como os três Es da Segurança Viária.

A área da engenharia é intimamente ligada à via e ao veículo, buscando minimizar a possibilidade da ocorrência de acidentes e suas consequências ao tornar esses componentes cada vez mais seguros. A engenharia tem como objetivo garantir que os deslocamentos de veículos e pedestres sejam realizados com segurança, fluidez, conforto e acessibilidade, de forma compatível com os requisitos operacionais dos veículos e com os comportamentos dos usuários.

Áreas específicas da engenharia lidam com o desenvolvimento e a implementação das tecnologias veiculares e com os chamados ITS (Sistemas Inteligentes de Transportes). Com relação à via, a engenharia tem como competência o desenvolvimento, a construção e a manutenção de projetos viários, a sinalização e a iluminação das vias públicas e o planejamento e a operação dos sistemas de trânsito e de transportes. É pertinente à engenharia, ainda, a manutenção e o Gerenciamento da Segurança Viária.

A área da educação, por sua vez, tem como objetivo levar a população a ter atitudes corretas no trânsito, respeitar as regras de circulação e ter consciência das causas e consequências dos acidentes. A educação no trânsito busca conscientizar e orientar os usuários da via a se comportar de forma segura, alertando-os sobre potenciais comportamentos de risco e formas de evitar tais comportamentos, mesmo que esses não sejam ilegais.

Países que apresentam bom desempenho em Segurança Viária costumam investir em ensinamentos sobre a educação no trânsito desde o início da idade escolar, sendo a instituição de ensino uma formadora de comportamento. Com isso, crianças podem ser orientadas a ter um comportamento adequado em relação à segurança no trânsito tanto na condição de pedestre, quanto na de passageiro e, futuramente, de motorista. A educação no trânsito em escolas deve aliar a teoria à prática, auxiliando a criança na compreensão de elementos e situações vivenciadas no trânsito.

Contudo, a educação no trânsito não se limita ao ambiente escolar e deve ser destinada a qualquer faixa etária. Segundo o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), por meio da Resolução nº 314 de 08 de maio de 2009, "*entende-se por campanha educativa toda a ação que tem por objetivo informar, mobilizar, prevenir ou alertar a população ou segmento da população para adotar comportamentos que lhe tragam segurança e qualidade de vida no trânsito*" [1]. Assim, campanhas publicitárias, programas educacionais com foco no indivíduo adulto, programas especiais destinados a crianças, idosos e portadores de deficiências e programas destinados a usuários que utilizam bicicletas, patinetes e outros meios de transporte são ações que contribuem para a mudança de comportamento do usuário, esteja ele na condição de condutor, passageiro ou pedestre [2].

A educação no trânsito compreende, inclusive, cursos de formação de condutores, que são obrigatórios para a permissão de conduzir veículos motorizados (motocicletas, automóveis, ônibus, caminhões etc.). Entretanto, ao contrário do que ocorre em alguns países, no Brasil não existem cursos de formação destinados a outros meios de transporte, como bicicletas e patinetes elétricos.

Atualmente, a formação de condutores inclui aulas, exames teóricos e práticos e avaliação médica. As aulas práticas exigidas no processo de formação de condutores mostram-se necessárias, uma vez que o desempenho dos motoristas melhora à medida que eles ganham experiência, especialmente quando acompanhados de instrutores profissionais ou outros motoristas mais experientes. Contudo, a capacidade de examinar a competência dos motoristas pode ser considerada pouco sofisticada, sendo particularmente difícil desenvolver avaliações rigorosas, válidas e confiáveis de aptidão para dirigir, especialmente entre aqueles que, devido à idade ou enfermidade, são considerados um risco para a segurança [3].

Além disso, o processo de formação de condutores ocorre apenas em ambiente urbano, não levando em consideração as particularidades de condução em rodovias. Durante o processo de habilitação, os futuros motoristas não recebem orientações nem desenvolvem as habilidades necessárias para trafegar em ambientes rodoviários, especialmente em vias com velocidades regulamentadas mais elevadas.

Por esse motivo, em alguns países, motoristas com carteira provisória não têm permissão para trafegar em rodovias. No Canadá, por exemplo, motoristas com carteira provisória só podem dirigir em rodovias com limite de velocidade superior a 80 km/h quando acompanhados por um instrutor. Ademais, durante a realização do exame de

habilitação definitiva, precisam comprovar experiência de condução em vias expressas com velocidade regulamentada superior a 80 km/h, podendo ser impedidos de completar o exame caso contrário [4].

Nota-se, portanto, a existência de oportunidades para o aperfeiçoamento do processo de formação de condutores no Brasil, de forma a garantir que, ao obter a permissão para dirigir, os motoristas realmente estejam capacitados, inclusive no que diz respeito ao ambiente rodoviário.

O terceiro pilar de atuação na Segurança Viária, o esforço legal, tem o intuito de organizar o trânsito. Compreende a elaboração de normas, a atuação de órgãos fiscalizadores, a aplicação de sanções administrativas em decorrência do descumprimento das normas e, também, o registro dos acidentes.

BOX 1**MEDIDAS DE ESFORÇO LEGAL ADOTADAS NO BRASIL**

Nos últimos anos, planos e ações foram elaborados com o intuito de melhorar o panorama da Segurança Viária no país. Além de planos específicos para a segurança no trânsito, medidas alinhadas com alguns dos principais fatores de risco identificados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) foram colocadas em prática no Brasil [5].

Uma medida importante foi a obrigatoriedade do uso do cinto de segurança para condutor e passageiros em todo o território nacional, salvo exceções estabelecidas pelo CONTRAN. Além disso, também foi determinada a obrigatoriedade do uso de capacete de segurança, tanto para os condutores de motocicleta como para os passageiros. Segundo a OMS, é fundamental o uso de capacete e de cinto de segurança para a redução do risco de lesões graves e mortes em acidentes de trânsito [5].

Outra medida estipulada no país foi a criação da “Lei Seca” (Lei nº 11.705 de 19 de junho de 2008), que instituiu a proibição de conduzir veículos sob a influência de álcool, além de definir uma punição para os infratores.

A fiscalização atua como um incentivo econômico para o respeito às leis de trânsito. Em geral, verifica-se que quanto mais fiscalização, maior é a adesão ao cumprimento das leis. Mediante a imposição de multa aos infratores, acompanhada da acumulação

de pontuação na Carteira Nacional de Habilitação (CNH) e, eventualmente, da privação do direito de dirigir, o esforço legal penaliza os usuários que infringem as leis de trânsito, deliberadamente ou não. Assim, essa área de atuação deve ser vista como complementar às ações da área educacional.

Além dessas três principais áreas de atuação, recentemente foram identificadas outras áreas importantes para a segurança no trânsito, complementando a abordagem da Segurança Viária com pilares adicionais. Um desses pilares é a resposta a emergências (*emergency response*), que se refere à capacidade da equipe de socorro de chegar rapidamente ao local do acidente, prestar o socorro imediato no local e levar a vítima a um centro de tratamento apropriado o mais rápido possível. A rapidez em responder a uma ocorrência na via, em avaliar a gravidade das lesões, em estabilizar as vítimas e em prestar socorro corretamente pode ser significativa na determinação das consequências de um acidente.

Um quinto pilar da Segurança Viária é a avaliação (*evaluation*), que diz respeito à análise das variações na frequência e na severidade de acidentes, buscando relacioná-las a variáveis explicativas que podem refletir alguma contramedida de segurança implementada (por exemplo, aumento de penalidades e obrigatoriedade do uso do cinto de segurança) ou alguma mudança resultante de outros desenvolvimentos na sociedade (por exemplo, atividade econômica). A avaliação também é realizada para mensurar a efetividade de uma intervenção de engenharia, além de servir como oportunidade para pesquisadores testarem suas previsões sobre como e por que certas intervenções podem ser eficazes².

2.2 Engenharia de Segurança Viária

Para efeito deste Manual, destinado à segurança em rodovias, a engenharia viária agrupa três campos disciplinares: a engenharia de infraestrutura viária, a engenharia de tráfego e a engenharia de Segurança Viária. Assim, a engenharia de Segurança Viária é proposta como um campo distinto da engenharia de tráfego.

² Este tema é abordado com mais detalhes no “Capítulo 14 — Avaliação econômica e monitoramento de projetos implantados”.

A engenharia de infraestrutura viária é a área da engenharia responsável por projetar as vias, assim como por executá-las, para que motoristas, ciclistas, pedestres e demais usuários possam trafegar de forma segura, rápida e confortável. Para isso, deve-se garantir que parâmetros como a geometria da via, o conforto ao rolamento, as distâncias de visibilidade, o atrito, a segurança lateral, entre outros, sejam adequados aos critérios que comprovadamente cooperam para a Segurança Viária e estejam de acordo com o estado da arte internacional de Segurança Viária.

A engenharia de tráfego é responsável por organizar o trânsito de veículos e pedestres, atuando por meio do planejamento do tráfego e também do projeto de operação de rodovias e vias urbanas, suas redes e áreas adjacentes, inclusive integrando diferentes modais e tipos de transporte.

A engenharia de Segurança Viária, por sua vez, pode ser definida como um processo baseado em evidências, relacionado com as informações de tráfego e de acidentes, o qual aplica princípios de engenharia para identificar melhorias no projeto de rodovias e no gerenciamento de tráfego a fim de reduzir o número de mortes e feridos graves, como também o custo de acidentes rodoviários [6]. Além disso, cabe à engenharia de Segurança Viária a análise de elementos físicos da rodovia que possuem potencial para contribuir para a ocorrência ou para a severidade de acidentes, utilizando-se de procedimentos conhecidos e de princípios consolidados de análise da Segurança Viária para tratar desses elementos.

Essa área da engenharia também atua na gestão da Segurança Viária, por meio da quantificação e qualificação da acidentalidade³, da definição de ações visando a redução da ocorrência e da severidade de acidentes, do tratamento de locais críticos, da aplicação de técnicas de conflitos de tráfego, da realização de Auditorias de Segurança Viária, do monitoramento da acidentalidade etc. [7].

Nesse sentido, a engenharia de Segurança Viária atua juntamente à engenharia de infraestrutura viária e à engenharia de tráfego, possibilitando a incorporação dos conceitos de Segurança Viária desde o princípio da elaboração de projetos de vias ou de melhorias. Além disso, a engenharia de Segurança Viária dá maior enfoque à interação pessoa-veículo e às consequências das soluções de engenharia na Segurança Viária.

³ O conceito de acidentalidade é discutido no “Capítulo 3 — Acidentalidade”.

2.3 Gerenciamento da Segurança Viária

O Gerenciamento da Segurança Viária visa minimizar acidentes de trânsito e suas consequências a partir de princípios da engenharia de Segurança Viária, levando em consideração a abordagem multidisciplinar dessa área. Esse processo fornece informações para auxiliar no planejamento do sistema viário e de projetos, assim como na operação e na manutenção da rede.

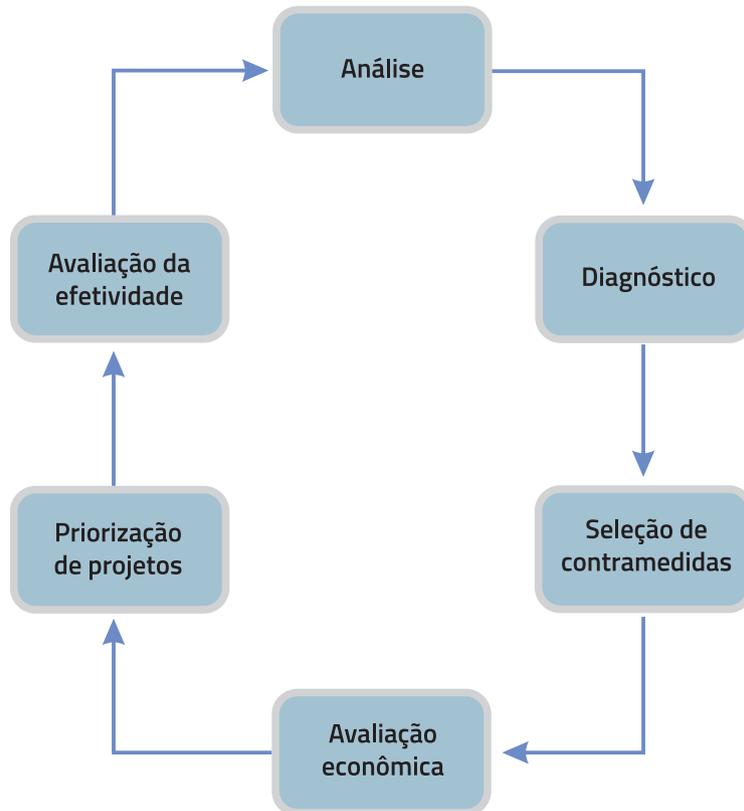
As atividades realizadas no processo de Gerenciamento da Segurança Viária fornecem [8]:

- informações sobre locais críticos que podem se beneficiar de tratamentos, com o objetivo de reduzir a ocorrência ou a severidade de acidentes;
- entendimento de padrões de acidentes e identificação das contramedidas mais eficazes para reduzir a frequência de acidentes a partir desses padrões;
- estimativas dos benefícios econômicos relacionados a uma determinada contramedida ou a um grupo de contramedidas;
- avaliação da efetividade de uma contramedida ou de um grupo de contramedidas.

Contramedida é uma estratégia de engenharia de Segurança Viária que busca reduzir ou, até mesmo, eliminar o risco de ocorrerem acidentes de qualquer natureza, assim como reduzir a severidade quando esses de fato ocorrem [8].

2.3.1 Processo tradicional do Gerenciamento da Segurança Viária

O processo de Gerenciamento da Segurança Viária pode ser representado pelo fluxograma da Figura 2.1 e compreende as seguintes etapas: análise, diagnóstico, seleção de contramedidas, avaliação econômica, priorização de projetos e avaliação da efetividade.

Figura 2.1: Etapas do Gerenciamento da Segurança Viária

Fonte: traduzido de [8]

A primeira etapa do processo de Gerenciamento da Segurança Viária é a identificação de locais com potencial de melhoria de segurança, que podem ser objeto de contramedidas e intervenções. De forma geral, os acidentes não são distribuídos igualmente ao longo da rede viária. Ao contrário, são eventos aleatórios e podem se concentrar em determinadas seções ou trechos da rede. A concentração de acidentes caracteriza os chamados “pontos críticos”, em que a probabilidade de ocorrer um acidente é alta ou, ainda, a probabilidade de um acidente ter consequências graves é alta [9].

Para a identificação de locais com potencial de melhoria de segurança, frequentemente utiliza-se dados históricos de acidentes. Esses dados são geralmente coletados por autoridades oficiais, como as forças policiais (PRF, PMRv e Polícia Civil), o Instituto Médico Legal (IML), hospitais, seguradoras, entre outros. A coleta e análise de dados é abordada com mais detalhes no “Capítulo 5 — Uso e tratamento de dados de acidentes”.

Ainda que o histórico de acidentes seja muito utilizado para prever onde os acidentes têm maior probabilidade de ocorrer, existem indícios de que muitos acidentes não ocorrem nos chamados pontos críticos. Evidências apontam que uma grande proporção dos acidentes mais severos ocorre em locais onde não existe histórico de acidentes [10].

Além disso, o histórico de acidentes não é a única informação que pode ser utilizada para avaliar a insegurança de um local. Acidentes não reportados, marcas no pavimento indicando “quase acidentes” ou, ainda, manutenções recorrentes em equipamentos laterais das vias são também indicadores de locais perigosos com potencial para melhoria de segurança.

Dessa forma, distinguem-se duas possíveis abordagens na identificação de locais com potencial de melhoria: a abordagem reativa, em razão do risco estar presente em locais em que acidentes ocorreram de fato, e a abordagem proativa, em locais com alto risco, mas que não necessariamente apresentem registro de acidentes.

BOX 2 ABORDAGEM REATIVA E ABORDAGEM PROATIVA



A abordagem reativa, como o próprio nome indica, é uma abordagem que se baseia em dados de acidentes para direcionar as melhorias de Segurança Viária de maneira sistemática e consistente. É uma abordagem que identifica locais, rotas ou áreas de alto risco⁴ ao longo da rede rodoviária, a partir do histórico de acidentes desses locais. Uma vez que um local de alto risco é selecionado, ele é analisado em detalhes e um programa de tratamento é elaborado [11].

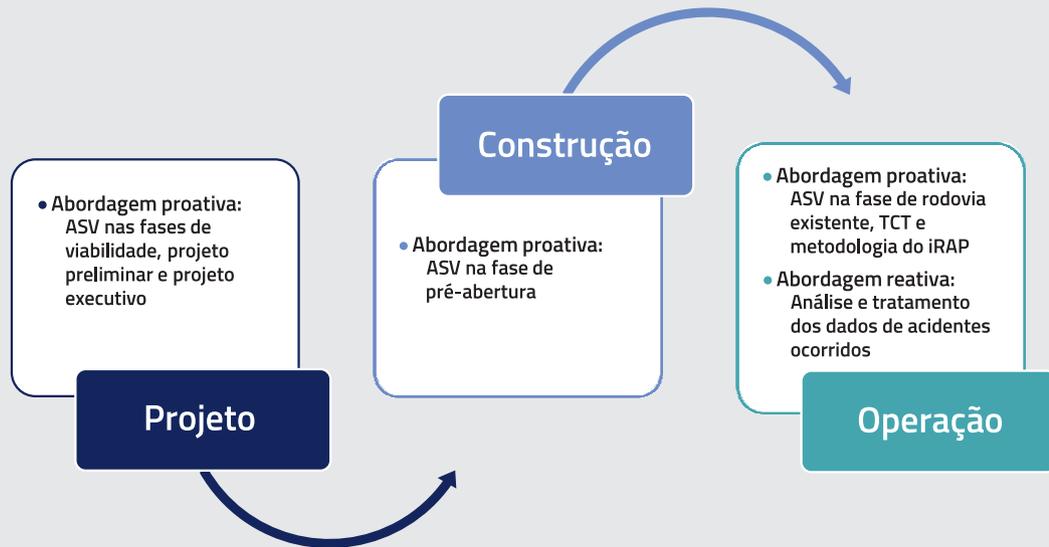
A abordagem proativa, em contrapartida, refere-se à identificação de locais de risco sem que seja necessária a ocorrência de acidentes. É conduzida para identificar fatores de risco em locais com potencial de acidentes e também para identificar elementos que possam agravar o resultado de acidentes, caso ocorram [10].

Abordagens proativas podem ser utilizadas em diversas fases do ciclo de vida de um projeto rodoviário, incluindo a fase de viabilidade, as fases de projeto, construção e períodos antes e depois da abertura da rodovia. Essa abordagem costuma ser realizada por meio de Auditorias de Segurança Viária (ASV), tanto para projetos de novas rodovias como para projetos de reabilitação e modernização. Além das ASVs, a abordagem proativa pode utilizar métodos como a Técnica de análise de Conflitos de Tráfego (TCT) e a metodologia do iRAP para rodovias em operação. Os diferentes métodos utilizados na abordagem proativa (ASVs, TCT, iRAP) são explicados no “Capítulo 12 — Abordagens proativas”.

⁴ Chamados de “blackspots”, “hazardous locations” ou “hotspots”, em inglês.

A Figura 2.2 apresenta as diferentes etapas do ciclo de vida de um projeto em que cada abordagem pode ser aplicada.

Figura 2.2: Abordagens reativa e proativa na Segurança Viária ao longo do ciclo de vida de um projeto



Fonte: elaborado pelo autor com base em [11]

A segunda etapa do processo de Gerenciamento da Segurança Viária é o diagnóstico dos locais selecionados. Essa etapa é baseada em cinco princípios [12]:

- considerar locais de risco com potencial para receber melhorias, identificados pela análise da rede;
- identificar padrões de acidentes (quando houver dados de acidentes disponíveis);
- investigar possíveis fatores causais;
- considerar as condições do local e o desempenho de segurança do ponto de vista dos fatores humanos e da engenharia;
- avaliar se existe uma preocupação de segurança candidata à correção.

Como resultado, espera-se um aprofundamento da análise feita anteriormente, buscando compreender a natureza do problema, de forma que medidas específicas

possam ser adotadas para diminuir a ocorrência e/ou a severidade dos acidentes. Para a realização da etapa de diagnóstico, há três passos a serem seguidos [8]:

- (1) Revisão dos dados de acidentes (abordagem reativa): quando houver dados de acidentes disponíveis, desenvolver estatísticas descritivas resumidas mediante a revisão dos tipos e das severidades dos acidentes e das condições ambientais, a fim de identificar padrões para os locais selecionados.
- (2) Avaliação da documentação de apoio: revisar estudos e planos da área selecionada para identificar problemas, oportunidades e restrições.
- (3) Avaliação das condições de campo: visitar o local para revisar e observar os diferentes modos de transportes e suas instalações, verificando particularmente como os diferentes usuários se locomovem na via e interagem entre si.

Com isso, todas as informações podem ser compiladas para identificar padrões ou tendências, possibilitando o tratamento dos locais selecionados. A etapa de diagnóstico também é abordada no “Capítulo 5 — Uso e tratamento de dados de acidentes”.

A terceira etapa do Gerenciamento da Segurança Viária é a seleção de contramedidas, abordada com detalhes no “Capítulo 13 — Seleção de contramedidas”. Nesta etapa, a partir das tendências identificadas e de outras informações analisadas no diagnóstico, busca-se mapear quais os fatores de risco e/ou contribuintes, porque eles ocorrem, o que os pode reduzir e o que é factível no local.

A etapa de seleção de contramedidas é dividida em dois passos: (i) identificar os fatores de risco que contribuem para as causas dos acidentes no local analisado; e (ii) identificar as contramedidas que respondem a esses fatores. Independentemente da abordagem — seja ela reativa ou proativa — o procedimento é similar: deve-se selecionar contramedidas potenciais para posteriormente avaliá-las quanto à eficácia e priorizar projetos.

As etapas seguintes à seleção de contramedidas são a avaliação econômica e a priorização de projetos, abordadas no “Capítulo 14 — Avaliação econômica e monitoramento de projetos implantados”. A avaliação econômica é realizada a partir da estimativa de custos de implantação e de manutenção das contramedidas potenciais e dos

benefícios esperados advindos de cada contramedida. Há dois principais objetivos na avaliação econômica de um projeto de contramedidas de segurança:

- (1) Determinar se o projeto é economicamente justificável, ou seja, se seus benefícios são maiores que seus custos.
- (2) Subsidiar a escolha das contramedidas a serem implementadas a partir da determinação daquelas que são mais eficientes economicamente, ou seja, daquelas que apresentam melhor benefício-custo.

A etapa de priorização refere-se ao desenvolvimento de uma lista ordenada de projetos, considerando apenas aqueles que se justificam economicamente de acordo com a avaliação da etapa anterior. Os projetos priorizados devem atender aos objetivos relacionados a custos, mobilidade e impactos socioambientais [8].

O resultado da priorização de projetos depende de alguns fatores, como a possibilidade de quantificação e o método utilizado para a estimativa dos custos e benefícios, a vida útil dos projetos considerados, além de fatores não econômicos (fatores sociais, ambientais e políticos) [8].

Em um contexto com financiamento limitado, é interessante selecionar o projeto que trará o maior retorno econômico. Contudo, como o principal objetivo da implantação de uma contramedida de segurança é a redução da ocorrência e/ou severidade dos acidentes, pode haver casos em que o projeto escolhido não seja aquele que apresenta a melhor avaliação econômica, mas sim aquele que resulta em um maior retorno social.

Além disso, é relevante considerar que uma contramedida é escolhida em detrimento de outra, o que nem sempre é trivial. A priorização de projetos pode recomendar a seleção de intervenções mais simples ao invés de uma contramedida mais cara e complexa. Entretanto, obras menores podem ser soluções paliativas que posteriormente vão exigir novos investimentos na Segurança Viária [13].

A última etapa do processo de Gerenciamento da Segurança Viária é a avaliação da efetividade dos projetos implantados, também discutida no “Capítulo 14 — Avaliação econômica e monitoramento de projetos implantados”. No processo de avaliação da efetividade são desenvolvidas análises com o objetivo de quantificar como o projeto

implementado afetou a ocorrência ou a severidade dos acidentes. Dessa forma, compara-se o cenário observado após a implementação do projeto com a previsão de acidentes caso não houvessem sido feitos melhoramentos no local.

Esses métodos de avaliação baseiam-se em dados coletados, considerando a frequência e a severidade dos acidentes, e utilizam análises estatísticas para avaliar tanto os segmentos individualmente quanto um conjunto de pontos que sofreram intervenções [13].

A avaliação da efetividade de projetos implantados é importante para a Segurança Viária por duas razões principais: a primeira é garantir que os programas realizados estejam alcançando os resultados desejados e identificar ações corretivas caso não estejam; a segunda é construir uma base de conhecimento sobre a efetividade de diferentes contramedidas, fornecendo informações para que programas mais eficazes possam ser desenvolvidos futuramente [14].

2.3.2 *Análise sistêmica*

Técnicas tradicionais de Gerenciamento da Segurança Viária que identificam locais de risco com potencial para receber melhorias se concentram principalmente em locais com histórico de acidentes (locais críticos na abordagem reativa) [15] ou em locais que apresentam mais fatores de risco para acidentes (abordagem proativa).

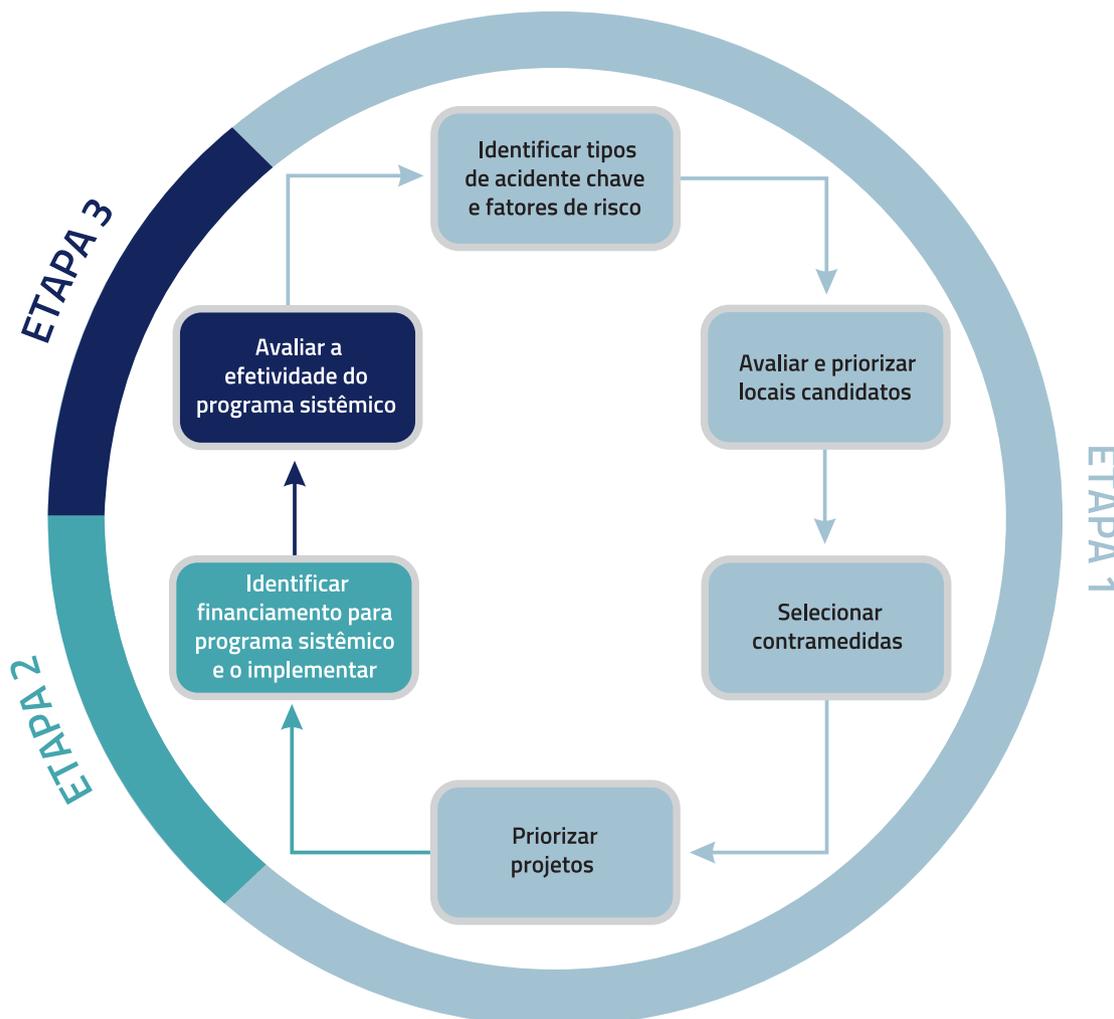
No entanto, evidências apontam que acidentes graves em vias rurais estão amplamente distribuídos ao longo da malha rodoviária. Isso quer dizer que a densidade de acidentes graves associados a rodovias pode ser baixa. Uma baixa densidade de acidentes normalmente não leva à identificação de locais de alto risco dentro do processo tradicional do Gerenciamento da Segurança Viária [15]. Em vez disso, essa distribuição com baixa densidade de acidentes representa um desafio para a abordagem de segurança, pois uma parcela dos acidentes graves pode não ser selecionada para receber tratamento.

Análises mostram que uma alta proporção de acidentes do mesmo tipo tende a ocorrer em locais que apresentam elementos geométricos ou operacionais comuns [16]. Desse modo, a análise sistêmica baseia-se nos tipos de acidentes que resultam em mortes ou ferimentos graves espalhados em toda a rede viária, e não em locais específicos com histórico de concentração de acidentes graves.

A abordagem sistêmica envolve características tanto da abordagem reativa como da abordagem proativa, combinando essas duas abordagens na identificação de locais de risco. Esse tipo de análise utiliza dados históricos de acidentes para identificar características da rodovia que podem atuar como fatores de risco para determinados tipos de acidentes, por isso o caráter da abordagem reativa. Contudo, a partir das características observadas da rodovia, a análise sistêmica permite a realização de melhorias em locais que ainda não apresentaram muitos ou, em alguns casos, nenhum acidente, o que a designa como uma abordagem parcialmente proativa [17].

A análise sistêmica pode ser dividida em três etapas, como representado na Figura 2.3 [15]:

- Etapa 1: semelhante às etapas do Gerenciamento da Segurança Viária tradicional. Inicia-se com a adequada coleta de dados, incluindo dados históricos de acidentes e dados de infraestrutura detalhados. A partir da análise dos dados são (i) identificados os tipos de acidentes chave e os fatores de risco associados; (ii) analisar e priorizar locais candidatos para a implementação de contramedidas; (iii) selecionar contramedidas de segurança comprovadas e de baixo custo; e (iv) priorizados os projetos.
- Etapa 2: define-se o investimento destinado a programas de análise sistêmica e o implementar.
- Etapa 3: avalia-se a efetividade dos programas de segurança sistêmica.

Figura 2.3: Etapas da análise sistêmica

Fonte: traduzido de [15]

A análise sistêmica tem se mostrado muito promissora na redução de acidentes. Entretanto, ressalta-se que essa abordagem é uma técnica destinada a complementar a abordagem tradicional de análise de segurança de um local, e não deve substituí-la. Entre as principais vantagens da abordagem sistêmica, pode-se citar [18]:

- identifica e prioriza locais em toda a rede viária, fornecendo um método alternativo para lidar com acidentes dificilmente identificados por meio da abordagem tradicional, e atendendo a uma necessidade não satisfeita anteriormente;

- procura características da via frequentemente presentes em ocorrências de determinados tipos de acidentes graves, identificando essas características como fatores de risco. Assim, permite que locais que ainda não apresentam acidentes, mas têm características semelhantes aos locais com históricos de acidentes analisados, possam ser tratados mediante a implementação generalizada de projetos para reduzir o potencial de acidentes graves;
- geralmente concentra-se em contramedidas de baixo custo que podem ser amplamente implantadas em todo o sistema viário, o que pode ser uma abordagem mais econômica para tratar da segurança da malha viária;
- pode ser usada sem um histórico de acidentes local detalhado, reduzindo a necessidade de dados.

Por outro lado, a abordagem sistêmica apresenta alguns desafios, como a disponibilidade de dados e a disponibilidade de recursos. A disponibilidade de dados determina o nível de detalhe na análise, pois, embora uma análise sistêmica possa ser realizada com praticamente qualquer quantidade de dados, um maior número de dados permite maior refinamento na identificação de potenciais fatores de risco. A disponibilidade de recursos afeta o nível da análise e determina a extensão das melhorias que podem ser realizadas [18].

Além disso, a justificativa para a implantação de melhorias em locais sem histórico de acidentes pode ser difícil, uma vez que nem sempre há uma correlação direta entre a localização do histórico de acidentes e os tratamentos recomendados. A abordagem sistêmica raramente recomenda uma alteração de grande escala em um único local, favorecendo interferências, mesmo que menores, nos vários pontos ou segmentos críticos identificados. No entanto, são os grandes projetos que frequentemente atraem a atenção dos tomadores de decisão, da mídia, das autoridades eleitas e do público em geral [16].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Resolução nº 314, de 08 de maio de 2009**. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao_contran_314_09.pdf Acesso em: 31 out. 2022
- [2] MONTMORENCY, Christiana Maria Lemos Barbato. **Análise da percepção de segurança de trânsito em áreas escolares, com a utilização de ferramenta multicritério**. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) — Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008
- [3] PORTER, Bryan E., **Handbook of Traffic Psychology**. GROEGER, John A., **Chapter 1 — How Many E's in Road Safety?** Old Dominion University, Norfolk. VA, Estados Unidos, 2011. doi: 10.1016/C2009-0-01975-8
- [4] CANADÁ, Ministry of Transportation (MTO). **The Official Ministry of Transportation (MTO) Driver's Handbook**. Ontário, Canadá, 2021. Disponível em: <https://www.ontario.ca/document/official-mto-drivers-handbook>. Acesso em: 22 set. 2021
- [5] Organização Mundial da Saúde (OMS). **Global Status Report on Road Safety**. Geneva, Suíça, 2018
- [6] HOQUE, Md. Mazharul; MAHMUD, S. M. Sohel. **Road Safety Engineering Challenges in Bangladesh**. Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET), 2009
- [7] FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto "Coca" *et al.* **Segurança Viária**. Ed: Suprema Gráfica e Editora. São Carlos, SP, Brasil, 2012
- [8] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Highway Safety Manual**. 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2010
- [9] ANDERSSON, Jonas et al. **Roadside Infrastructure for Safer European Roads (RISER). D08: European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Maintenance and Operations of Roadside Infrastructure**. Chalmers University of Technology. Suécia, 2006
- [10] AUSTRÁLIA, Austroads. **Guide to Road Safety Part 2: Safe Roads**. Sydney, Austrália, 2021. Disponível em: <https://austroads.com.au/publications/road-safety/agrs02>. Acesso em: 31 out. 2022
- [11] ÁFRICA, African Development Bank; Transport and ICT Department (OITC). **Road Safety Manuals for Africa: Existing Roads: Reactive Approaches**. Tunísia-Belvedere, África, 2014
- [12] ESTADOS UNIDOS, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Transportation Research Board of the National Academies. **Development of a Highway Safety Manual**. Estados Unidos, 2004

- [13] BRASIL, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo**. Rio de Janeiro, Brasil, 1998
- [14] AUSTRÁLIA, Austroads. **Austroads Research Report: An Introductory Guide for Evaluating Effectiveness of Road Safety Treatments**. Sydney, Austrália, 2012- Disponível em: <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-R421-12>. Acesso em: 17 maio 2021
- [15] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **Systemic Safety Project Selection Tool**. Estados Unidos, 2013
- [16] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **Road Safety Information Analysis: A Manual for Local Rural Road Owners**. Estados Unidos, 2011
- [17] GREMBEK, Offer; PASQUET, Joy; VANOLI, Catalina. **An Enhanced Systemic Approach to Road Safety**. Berkeley, CA, Estados Unidos, 2019. Disponível em: roadsafety.unc.edu. Acesso em: 22 set. 2021
- [18] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **A Systemic Approach to Safety: Using Risk to Drive Action**. Estados Unidos, 2017. Disponível em: <https://safety.fhwa.dot.gov/systemic/why.cfm>. Acesso em: 22 set. 2021



ACIDENTALIDADE

Para efeitos deste Manual, acidente rodoviário ou acidente viário é definido como um evento não intencional e inesperado que ocorre em vias abertas à circulação e seus entornos e envolve um ou mais veículos, podendo ser entre veículos, entre veículos e pedestres ou entre veículos e obstáculos fixos presentes ao longo da via. Acidentes podem resultar em lesões e/ou danos materiais às vítimas e são resultado de uma série de fatores simultâneos ou sequenciais, chamados fatores de risco¹, como as condições da pista, o comportamento humano, as condições do veículo e o meio ambiente, incluindo aqui o ambiente viário e as condições climáticas.

Por definição, todo acidente é evitável, ou em grande parte evitável, uma vez que o risco de se envolver e se ferir em um acidente é largamente previsível. De acordo com os princípios do Sistema Seguro, que será abordado no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias”, aqueles que projetam as vias têm maior responsabilidade pelos acidentes do que aqueles que as utilizam. Por mais que os acidentes tenham relação com o comportamento e as ações dos usuários, há sempre medidas de engenharia de Segurança Viária que podem ser implementadas para induzir ações mais seguras e minimizar acidentes.

¹ Fatores de risco são abordados no “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”.

Acidentalidade, por sua vez, trata do conjunto coerente de informações que envolvem os acidentes de trânsito e embasam os dados das ocorrências sob diversos aspectos, fornecendo referências fundamentais para a análise e adoção de contramedidas, visando a redução dos acidentes e de sua severidade.

Estatisticamente, acidentes são eventos raros e aleatórios. Raros na medida em que representam uma parcela muito pequena do total de eventos relacionados ao transporte, e aleatórios, pois suas causas são fatores parcialmente determinísticos (podem ser controlados) e parcialmente estocásticos (aleatórios e imprevisíveis) [1]. Embora raros, acidentes de trânsito são muito mais frequentes do que acidentes em outros modais, como acidentes aéreos ou fluviais.

O risco de acidentes no trânsito pode ser definido como função de quatro fatores: (i) exposição, relacionada à quantidade de movimento ou de viagens dos usuários e à extensão da via, (ii) probabilidade de um acidente, dada uma determinada exposição, (iii) probabilidade de ferimentos, dado um acidente e (iv) resultado dos ferimentos.

Sabe-se que o risco de ocorrer um acidente está sempre presente quando há deslocamento de veículos em uma rede de transportes. No entanto, a probabilidade de ocorrência é baixa na maioria dos casos, estando ligada à presença de condições específicas no momento do acidente, como um motorista desatento que invade a faixa de tráfego adjacente no momento em que outro veículo está passando nessa mesma faixa [1].

Assim, o risco potencial de acidentes aumenta com o incremento de fatores de risco presentes na rodovia. Na maioria dos casos, acidentes em potencial podem ser evitados por uma ação habilidosa do motorista, como diminuir a velocidade, mudar de faixa ou acionar a buzina, ou ainda por atitudes de direção defensiva [1].

Neste capítulo são apresentadas as principais formas de classificar os acidentes: por tipo e por severidade. Além disso, são identificados os principais indicadores de Segurança Viária, destacando-se os indicadores mais utilizados mundialmente, que podem servir para comparar os níveis de acidentalidade dos diferentes países. Por último, é apresentada a metodologia de cálculo dos custos dos acidentes.

3.1 Classificação de acidentes

Acidentes apresentam similaridades, o que permite a definição de um sistema de classificação para melhor compreender suas causas e possibilitar ações para reduzir a acidentalidade. Se, por um lado, a classificação for muito abrangente, não será possível definir os fatores determinantes para a ocorrência de acidentes. Por outro lado, se a classificação for demasiadamente específica, não cumprirá sua função de agregar os acidentes de acordo com as suas características. Assim, busca-se um caminho intermediário, o qual produza uma classificação suficientemente abrangente para descrever características comuns dos acidentes.

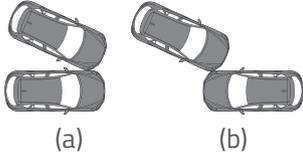
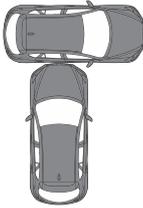
3.1.1 *Tipologia dos acidentes*

Os acidentes podem ser classificados por tipo, de acordo com o Quadro 3.1. As possíveis causas dos acidentes listadas nesse quadro estão, em geral, relacionadas às condições da via e do tráfego. Cabe lembrar que as possíveis causas de acidentes também podem estar relacionadas ao comportamento dos usuários (desatenção ou sonolência, por exemplo) ou a eventuais falhas mecânicas e essas situações podem ocasionar diversos tipos de acidentes. Dessa forma, possíveis causas relacionadas ao comportamento dos usuários ou a falhas mecânicas não estão listadas no quadro.

Quadro 3.1: Tipologia dos acidentes

Tipo de Acidente	Definição	Possíveis causas	Ilustração
Atropelamento	Acidente em que pedestres ou animais sofrem o impacto de um veículo, estando pelo menos uma das partes em movimento.	Este tipo de acidente pode ocorrer por causa da falta de visibilidade do pedestre, pela perda de controle do veículo e saída da pista, por ato inseguro do pedestre, podendo estar associado a excesso de velocidade ou atenção desviada	
Tombamento	Acidente em que o veículo sai de sua posição normal, imobilizando-se sobre uma de suas laterais, sua frente ou sua traseira.	Pode ocorrer por causa de uma colisão, choque ou saída da pista e queda sobre uma superfície situada em plano inferior ou, ainda, subida ou queda em um barranco.	
Capotamento	Acidente em que o veículo gira sobre si mesmo, em qualquer sentido, chegando a ficar com as rodas para cima, imobilizando-se em qualquer posição.	As principais causas deste tipo de acidente são as mesmas que de tombamentos, porém mais acentuadas.	
Choque	Acidente em que há impacto de um veículo contra qualquer objeto fixo ou móvel, mas sem movimento.	Pode ocorrer quando o condutor perde o controle do veículo e sai da pista, por qualquer razão, vindo a atingir um obstáculo fixo ao lado da pista. Pode ocorrer também quando um objeto se desprende de um veículo, cai sobre a pista e é atingido por outro veículo	



Tipo de Acidente	Definição	Possíveis causas	Ilustração
Colisão	Acidente em que um veículo em movimento sofre o impacto de outro veículo, também em movimento. Pode ser de três tipos:		
Colisão frontal	Colisão que ocorre frente a frente, quando os veículos trafegam na mesma direção, em sentidos opostos.	A principal causa deste acidente é um veículo invadir a pista de tráfego do sentido oposto.	
Colisão lateral (abalroamento lateral)	Colisão que ocorre lateralmente, quando os veículos trafegam na mesma direção, podendo ser no mesmo sentido (a) ou em sentidos opostos (b).	Normalmente ocorre quando um dos veículos não percebe a presença do outro e invade a faixa adjacente, seja para realizar ultrapassagem, conversão, ou mudar de faixa. Pode acontecer, também, de o veículo invadir parcialmente a pista contrária. Além disso, pode ocorrer em áreas de convergência de interseções e acessos.	
Colisão transversal (abalroamento transversal)	Colisão que ocorre transversalmente, quando os veículos trafegam em direções que se cruzam, ortogonal ou obliquamente.	De maneira geral, ocorre em cruzamentos viários quando um dos veículos avança indevidamente o sinal de "Dê a Preferência", "Pare" ou semáforo, ou desrespeita a preferência de passagem. Pode estar associado à falta de visibilidade.	



Tipo de Acidente	Definição	Possíveis causas	Ilustração
Colisão traseira	Colisão que ocorre entre a frente de um veículo e a traseira de outro ou entre a traseira de dois veículos, quando esses trafegam no mesmo sentido ou em sentidos contrários, podendo pelo menos um deles estar em marcha a ré.	Comumente ocorre quando o veículo à frente freia de maneira brusca, ou se locomove com velocidade muito baixa, e o veículo de trás não consegue frear a tempo, seja por estar muito próximo ou trafegando com velocidade muito alta. Pode ocorrer em casos de velocidade diferencial elevada entre veículos que trafegam na mesma direção.	
Engavetamento	Acidente em que há impacto entre três ou mais veículos, em um mesmo sentido de circulação.	Pode ocorrer quando não há distância mínima de segurança entre os veículos (compatível com suas velocidades), por ondas de congestionamento, ou quando a visibilidade fica reduzida repentinamente em casos de neblina ou fumaça na pista. Nesses casos, uma colisão entre dois veículos pode desencadear colisões múltiplas.	
Queda	Acidente em que há impacto em razão de queda livre do veículo, ou queda de pessoas ou cargas por ela transportadas.	Ocorre normalmente quando há queda do veículo em um terreno lateral inferior, quando pessoas caem ou quando a carga de um veículo cai por não estar bem atada a ele.	

Fonte: elaborado pelo autor com base em [2], [3]

3.1.2 Severidade dos acidentes

Além da tipologia, os acidentes podem ser classificados de acordo com as consequências em que resultam, podendo ser discriminados em acidentes com danos materiais somente ou em acidentes com vítimas. Quando há vítimas no acidente, a classificação pode ser realizada, ainda, de acordo com os ferimentos sofridos no momento e contabilizados em até trinta dias após o acidente, segundo a norma nacional [2] e o padrão internacional de contagem. Assim, os acidentes podem ser classificados em:

- acidente com danos materiais somente (sem vítima);
- acidente com vítima com ferimentos leves;
- acidente com vítima de natureza grave;
- acidente com vítima fatal.

Internacionalmente², utiliza-se a escala AIS (*Abbreviated Injury Scale* — Escala Abreviada de Lesões, em português), baseada na severidade das lesões que as vítimas dos acidentes de trânsito sofreram. Nessa escala, os médicos atribuem às lesões sofridas notas de 1 a 6, sendo 1 atribuído a pequenas lesões e 6 a fatalidades. Considera-se que a vítima está seriamente ferida caso a nota atribuída seja maior ou igual a 3. Em caso de falta de informações, confere-se valor igual a 9 à lesão, conforme listado na sequência [4]:

1 = mínimo	5 = crítico
2 = moderado	6 = máximo (fatal)
3 = sério	9 = desconhecido
4 = severo	

² O HSM utiliza a escala internacional KABCO, segundo a qual há cinco níveis de severidade das lesões [1]:

- K — Lesão fatal: uma lesão que resulta em morte;
- A — Lesão incapacitante: qualquer lesão, que não seja fatal, que impeça a pessoa lesionada de andar, dirigir ou continuar normalmente suas atividades como antes da ocorrência da lesão;
- B — Lesão evidente não incapacitante: qualquer lesão, exceto uma lesão fatal ou uma lesão incapacitante, que seja evidente para os observadores na cena do acidente em que ocorreu a lesão;
- C — Lesão possível: qualquer lesão relatada ou reivindicada que não seja fatal, lesão incapacitante ou lesão evidente não incapacitante e inclui reclamação de lesões não evidentes;
- O — Sem Lesões / Danos Materiais Somente.

3.2 Indicadores de Segurança Viária

É possível avaliar a Segurança Viária utilizando indicadores que medem a insegurança da via, como o número de acidentes, número de mortos e feridos, a magnitude dos danos à propriedade, entre outros, ou utilizando critérios de engenharia, os quais corroboram com um ambiente mais seguro, como a geometria da via, os dispositivos de segurança presentes, a velocidade, a visibilidade, etc. Neste capítulo, são tratados os aspectos relativos à insegurança da via, denominados indicadores de Segurança Viária. Nos capítulos seguintes, são abordados os aspectos relativos à segurança a partir da visão da engenharia.

Indicadores de Segurança Viária são variáveis utilizadas para avaliar a magnitude do problema de segurança existente, os riscos envolvidos e o impacto da gestão de Segurança Viária [5]. É importante que eles sejam precisos para que possam ser empregados como ferramentas de monitoramento e avaliação.

O desenvolvimento e utilização de indicadores de Segurança Viária envolve três principais etapas [6]:

- (1) Seleção dos indicadores.
- (2) Desenvolvimento de um sistema de coleta e armazenamento de dados.
- (3) Inserção dos indicadores no processo de tomada de decisão.

Existem diversos indicadores, cada qual apresentando uma finalidade específica. Os indicadores podem estar ligados: (i) ao perigo que o tráfego representa para a população (habitantes), (ii) ao instrumento dos acidentes (veículos), ou (iii) à mobilidade (exposição). Quando se pensa em prevenção de acidentes, é importante que os critérios a serem utilizados estejam bem estabelecidos e que se tenha clareza dos objetivos que se deseja alcançar, uma vez que cada indicador é mais adequado a um tipo de análise, a depender de seu objetivo.

Do ponto de vista da saúde pública, é mais interessante mensurar os acidentes a partir do perigo que o tráfego representa para a população [7]. Contudo, nem sempre a escolha do denominador é óbvia. Em países com baixas taxas de motorização, os índices de acidente por população tendem a ser mais baixos, ao contrário do que ocorre

em países mais motorizados. Dados dos Estados Unidos demonstram essas diferenças entre indicadores: entre 1927 e 1987, a taxa de mortalidade por quilometro percorrido diminuiu em cerca de nove vezes, mas a taxa de mortalidade por 100.000 habitantes não se alterou [7].

Normalmente, ao avaliar indicadores de Segurança Viária, busca-se determinar o risco de ocorrência ou a severidade dos acidentes, identificar se os veículos atendem aos padrões de segurança, quantificar o nível de segurança de uma via ou monitorar alterações no comportamento no trânsito da sociedade [6].

Os indicadores de Segurança Viária podem ser classificados em primários ou secundários. Indicadores primários são, também, denominados indicadores de impacto ou indicadores estatísticos, pois estão diretamente relacionados com a insegurança da via, podendo ser obtidos pelas relações entre as contagens de acidentes e a exposição, a população ou a frota. Os indicadores secundários, por sua vez, descrevem o comportamento dos usuários, aspectos legais e tecnologias do veículo. São exemplos de indicadores secundários a porcentagem de motoristas dirigindo alcoolizados, a quantidade que utiliza cinto de segurança, a quantidade de motociclistas que utiliza capacete ou quantos veículos trafegam acima do limite de velocidade. Esses indicadores são capazes de fornecer indícios sobre os mecanismos que caracterizam um acidente.

Ambos os indicadores primários e secundários são de suma importância para identificar as causas dos acidentes, assim como para formular estratégias de prevenção de acidentes. Vale ressaltar que os indicadores não são capazes de descrever com precisão os efeitos de um fator contribuinte³ isoladamente, pois há diversas variáveis e fatores envolvidos em um único acidente [6].

3.2.1 Principais indicadores de Segurança Viária

A fim de apresentar as aplicações e limitações dos indicadores de Segurança Viária, bem como possibilitar a escolha do mais adequado à situação analisada, os indicadores podem ser divididos de acordo com as seguintes categorias [5]:

³ Fatores contribuintes são explicados no “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”.

- Custos sociais dos acidentes (ex.: custos médicos, dano à propriedade, custo de uma morte no trânsito, custo médio de diferentes gravidades de acidentes):
 - » facilitam a comparação do impacto dos acidentes e de outras áreas de políticas públicas, o que é importante na justificativa de alocação de recursos;
 - » podem ser expressos em porcentagens do PIB, indicando perdas para a economia.
- Indicadores de resultados (ex.: número de acidentes, acidentes com feridos e acidentes com mortos, entre outros):
 - » estão relacionados à exposição: quanto maior a exposição, maior a probabilidade de ocorrência do evento. Isso resulta, por exemplo, em maiores números absolutos de mortes e lesões em acidentes de trânsito em locais com maior volume de tráfego. Desse modo, para facilitar a comparação entre regiões, pode-se dividir o número de eventos (acidentes, feridos ou mortes) pela exposição.
- Indicadores de desempenho em segurança (ex.: prevalência de motoristas alcoolizados, número de pessoas que utilizam cintos de segurança/capacetes, manutenção veicular):
 - » são utilizados para medir mudanças no desempenho de segurança e avaliar o que desencadeia esses eventos. Assim, indicadores de desempenho devem ter uma relação causal com os acidentes ou vítimas, e serem de fácil mensuração e compreensão;
 - » normalmente, são responsáveis por medir resultados intermediários da implementação de uma contramedida, relacionados ao comportamento do usuário, à segurança do veículo e à via.
- Indicadores de processo ou implementação (ex.: uso aleatório de etilômetro, câmeras de velocidade):
 - » fornecem uma visão sobre como a gestão de Segurança Viária está funcionando. Informam a existência de políticas e programas, seu conteúdo e qualidade, assim como seus resultados. Entretanto, não é possível medir o impacto de determinada contramedida sem utilizar também indicadores de desempenho associados às contramedidas implementadas.

Entre as categorias mencionadas, destacam-se os indicadores de resultados, utilizados com mais frequência em análises de Segurança Viária. Essas análises normalmente são feitas relatando dados com periodicidade mensal ou anual, considerando trechos homogêneos com relação à segurança, divididos em segmentos de um quilômetro ou de forma pontual em entroncamentos ou segmentos em estudo.

Os indicadores de resultado podem ser calculados por meio de uma fórmula geral, representada pela Equação 3.1:

$$I = N/Q \quad \text{Eq. 3.1}$$

Onde I corresponde ao indicador de resultado, N corresponde ao número de acidentes ou vítimas⁴ e Q corresponde à variável de comparação selecionada a partir do objetivo da análise, podendo ser a população, a frota ou a exposição.

Os indicadores de resultado podem representar diferentes graus de severidade dos acidentes. Para isso, o número de acidentes ou vítimas (N) deve assumir valores relacionados a diferentes graus de severidade, podendo ser:

- Número de acidentes com vítimas no período de análise:
 - » A = número de acidentes;
 - » A_{sdm} = número de acidentes com danos materiais somente (sem vítimas);
 - » A_F = número de acidentes com feridos;
 - » A_M = número de acidentes com mortos.

- Número de vítimas no período de análise:
 - » F = número de feridos;
 - » M = número de mortos;
 - » V = número de vítimas.

⁴ Vale ressaltar a diferença nos resultados dos indicadores ao considerar o número de acidentes com vítimas e o número de vítimas no cálculo. Um único acidente envolvendo um ônibus, por exemplo, pode resultar em um número de vítimas maior do que vários acidentes envolvendo veículos leves. Assim, deve-se ter cuidado ao selecionar os dados a serem utilizados no cálculo dos indicadores, para evitar análises equivocadas.

O Quadro 3.2 apresenta um resumo com as equações de todos os indicadores que podem ser calculados a partir dos diferentes graus de severidade dos acidentes (linhas) e das diferentes variáveis de comparação, selecionadas de acordo com o objetivo da análise (colunas).

Quadro 3.2: Equações dos indicadores de resultado

Severidade dos acidentes (N)	Variável de comparação (Q)		
	População (habitantes)	Frota (veículos)	Exposição (VDM x extensão x nº dias do período)
A = número de acidentes	$\frac{A}{\text{habitantes}}$	$\frac{A}{\text{veículos}}$	$\frac{A}{\text{VDM} \times \text{extensão} \times \text{nº dias do período}}$
A_{sdm} = número de acidentes com danos materiais somente (sem vítimas)	$\frac{A_{sdm}}{\text{habitantes}}$	$\frac{A_{sdm}}{\text{veículos}}$	$\frac{A_{sdm}}{\text{VDM} \times \text{extensão} \times \text{nº dias do período}}$
A_F = número de acidentes com feridos	$\frac{A_F}{\text{habitantes}}$	$\frac{A_F}{\text{veículos}}$	$\frac{A_F}{\text{VDM} \times \text{extensão} \times \text{nº dias do período}}$
A_M = número de acidentes com mortos	$\frac{A_M}{\text{habitantes}}$	$\frac{A_M}{\text{veículos}}$	$\frac{A_M}{\text{VDM} \times \text{extensão} \times \text{nº dias do período}}$
F = número de feridos	$\frac{F}{\text{habitantes}}$	$\frac{F}{\text{veículos}}$	$\frac{F}{\text{VDM} \times \text{extensão} \times \text{nº dias do período}}$
M = número de mortos	$\frac{M}{\text{habitantes}}$	$\frac{M}{\text{veículos}}$	$\frac{M}{\text{VDM} \times \text{extensão} \times \text{nº dias do período}}$
V = número de vítimas (F + M)	$\frac{V}{\text{habitantes}}$	$\frac{V}{\text{veículos}}$	$\frac{V}{\text{VDM} \times \text{extensão} \times \text{nº dias do período}}$

Fonte: elaborado pelo autor

O Quadro 3.3 apresenta os principais indicadores de resultado utilizados mundialmente e os usos e limitações de cada um deles, considerando que cada indicador pode ser calculado para acidentes ou vítimas, mas nem sempre para os diferentes graus de severidade dos acidentes.

Quadro 3.3: Principais indicadores de resultado

Indicadores	Descrição	Formulação matemática	Uso e limitações
Índice de acidentes (também chamado de índice de acidentes por milhão de quilômetros percorridos)	Índice que reflete o número de acidentes que ocorrem em um segmento pela exposição ⁵ em determinado período de tempo.	$I_a = \frac{N \times 10^6}{\text{exposição}}$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ índice mais geral para avaliar Segurança Viária; ▪ útil para estabelecer comparações; ▪ não considera diferenças de severidade entre acidentes; ▪ mais utilizado como índice nacional ou estadual.
Número absoluto (de acidentes ou vítimas)	Número absoluto de acidentes ou vítimas em certo local em um determinado período de análise.	$I = \sum N$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ útil para planejamento em nível local, mas pouco útil para comparações; ▪ no caso de número de feridos, grande proporção de feridos leves não é notificada; ▪ há grande subnotificação de acidentes sem vítimas, com danos materiais somente.
Índice de acidentes ou vítimas por 100.000 habitantes ⁶	Índice que apresenta a taxa de accidentalidade, mediante o número relativo de feridos ou mortos (risco) por habitantes	$I_h = \frac{N \times 10^5}{\text{habitantes}}$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mostra o impacto de acidentes de trânsito, número de vítimas ou mortes sobre a população; ▪ útil para refletir a magnitude do problema em relação a outras causas de morte; ▪ útil para comparações internacionais.
Índice de acidentes ou vítimas por 10.000 veículos ⁷	Índice que apresenta a razão da accidentalidade, mediante o número relativo de feridos ou mortos (risco) pela frota	$I_{\text{veic}} = \frac{N \times 10^4}{\text{veículos}}$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mostra a relação entre acidentes ou vítimas e o tamanho da frota de veículos (índice de motorização da sociedade); ▪ omite os meios de transporte não motorizados e outros indicadores de exposição; ▪ a precisão depende da confiabilidade dos dados de registro de veículos. ▪ reduções no indicador podem ser devido ao aumento no número de veículos, e não representarem ganhos reais em termos de Segurança Viária.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [5]

⁵ O cálculo da exposição é realizado a partir do volume de tráfego (VDM), da extensão do trecho e do número de dias do período analisado, conforme indicado no Quadro 3.2 e na Equação 3.6 (item “3.3.2 – Cálculo dos segmentos críticos”).

⁶ Este índice também é utilizado no Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS), o qual define metas para os próximos 10 anos (2019-2028), baseando-se no índice de mortos por grupo de habitantes. Conforme Art. 326-A do Código de Trânsito Brasileiro, esse índice deve ser reduzido à metade [8].

⁷ Este índice também é utilizado no Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS), o qual define metas para os próximos 10 anos (2019-2028), baseando-se no índice de mortos por grupo de veículos. Conforme Art. 326-A do Código de Trânsito Brasileiro, esse índice deve ser reduzido à metade [8].

Os indicadores de resultado podem ser utilizados para definir metas, alocar recursos e medir o progresso geral dos programas de redução dos acidentes, podendo ser expressos em números absolutos (de acidentes ou vítimas, por grau de severidade) ou pela relação do número de acidentes ou vítimas para diferentes graus de severidade, por exposição, população ou frota. A vantagem de utilizar indicadores relativos é a facilidade de estabelecer comparações entre diferentes localidades. No entanto, esses indicadores podem mascarar resultados, uma vez que um número muito elevado de mortes não é aceitável, mesmo que haja grande exposição.

3.2.2 Cálculo de segmentos críticos

A identificação de segmentos críticos é importante para a seleção de locais com potencial de serem tratados com contramedidas de segurança. Para determinar a criticidade de um trecho, deve-se analisar os dados de acidentes de forma ponderada, considerando a severidade de cada ocorrência dentro do período de análise. Utiliza-se, então, a Unidade Padrão de Severidade (UPS), baseada em experiências internacionais e atualmente em uso pelo DER/SP e DNIT, a qual pondera os acidentes de acordo com a severidade, empregando a seguinte escala:

- Acidentes com danos materiais somente — multiplicar por 1 ($A_{sdm} \times 1$);
- Acidentes com feridos — multiplicar por 5 ($A_F \times 5$);
- Acidentes com mortos — multiplicar por 13 ($A_M \times 13$).

Assim, a Equação 3.2 representa o cálculo da UPS:

$$UPS = (A_{sdm} \times 1) + (A_F \times 5) + (A_M \times 13) \quad \text{Eq. 3.2}$$

Na sequência, a partir dos valores de *UPS* obtidos para os segmentos avaliados, deve-se calcular o Índice Ponderado de Acidentes (I_p), um indicador utilizado para classificar pontos ou segmentos críticos. Esse índice é calculado conforme as Equações 3.3 e 3.4, para trechos lineares ou interseções, respectivamente.

$$(i) \quad I_p = \frac{\text{UPS} \times 10^6}{\text{VDM} \times \text{extensão} \times \text{n}^\circ \text{ dias do período}} \quad \text{Eq. 3.3}$$

$$(ii) \quad I_p = \frac{\text{UPS} \times 10^6}{\text{VDM} \times \text{n}^\circ \text{ dias do período}} \quad \text{Eq. 3.4}$$

A partir do cálculo de I_p , é possível determinar Índice Crítico (I_c), o qual serve de referência para a determinação dos segmentos críticos. O Índice Crítico é calculado usando a distribuição de Poisson, apresentada na Equação 3.5:

$$I_c = I_p + K \times \sqrt{\frac{I_p}{\text{exposição}} - \frac{0,5}{\text{exposição}}} \quad \text{Eq. 3.5}$$

Onde K é uma constante que determina o grau de confiança de um determinado índice de acidente calculado, sendo:

- nível de confiança de 99,5%: $K = 2,576$;
- nível de confiança de 95%: $K = 1,645$;
- nível de confiança de 90%: $K = 1,282$.

Para o contexto rodoviário, sugere-se a utilização de $K = 1,645$, com 95% de confiança, valor relacionado ao nível de significância⁸ do teste de hipótese (H_0) [9]. Esse valor é adotado pelo DER/SP, Artesp e DNIT e é utilizado no contexto das rodovias norte-americanas.

A exposição, por sua vez, é dada pela Equação 3.6, onde VDM é o Volume Diário Médio, em veículos:

$$\text{exposição} = \text{VDM} \times \text{extensão do segmento} \times \text{n}^\circ \text{ dias no período} \quad \text{Eq. 3.6}$$

⁸ O nível de significância é a probabilidade tolerável de se rejeitar H_0 quando H_0 é verdadeiro. Rejeita-se H_0 quando o trecho é crítico (ou seja, quando $I_p > I_c$).

Dessa forma, o segmento deve ser considerado crítico quando o Índice Ponderado de Acidentes for maior que o Índice Crítico ($I_p > I_c$).

3.3 Custo dos acidentes

No Brasil, 479.857 vidas foram perdidas no trânsito entre 2007 e 2018. Além de um grande impacto social, essas perdas têm também repercussões econômicas: os custos desses acidentes superaram R\$ 1,5 trilhão no período [10].

Os custos de um acidente que podem ser quantificados são sempre menores do que seus custos reais [11]. Acidentes implicam em custos imensuráveis, como perdas de vida ou lesões permanentes, os quais incidem sobre as vítimas dos acidentes e as pessoas com quem elas se relacionam. Há casos também em que ocorrem danos ao meio ambiente, como em acidentes com produtos perigosos. Esses custos são bastante elevados e impactam a sociedade de maneira, muitas vezes, irreversível.

Contudo, mesmo que a saúde e a vida não possam ter seu valor calculado, é possível fazer uma estimativa dos impactos que o dano à vida pode causar à sociedade. Com isso, estima-se o custo dos acidentes e é possível subsidiar tomadas de decisão, com o objetivo de promover um ambiente rodoviário mais seguro [12].

Nesse sentido, calcular os custos dos acidentes é fundamental para compará-los aos custos envolvidos com a implantação de contramedidas de segurança, de modo a determinar se uma contramedida apresenta resultados economicamente vantajosos para a Segurança Viária. Mesmo com valor elevado, uma contramedida pode ser economicamente justificável se promover uma significativa redução de acidentes. Este assunto é tratado com mais detalhes no “Capítulo 14 — Avaliação econômica e monitoramento de projetos implantados”.

A metodologia de cálculo proposta pelo IPEA⁹ para estimar o custo dos acidentes baseia-se em dois princípios: aditividade dos custos, que supõe a possibilidade de

⁹ O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) é uma fundação pública federal vinculada ao Ministério da Economia que fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais para a formulação e o acompanhamento de políticas públicas e programas de desenvolvimento, por meio de atividades de pesquisa.

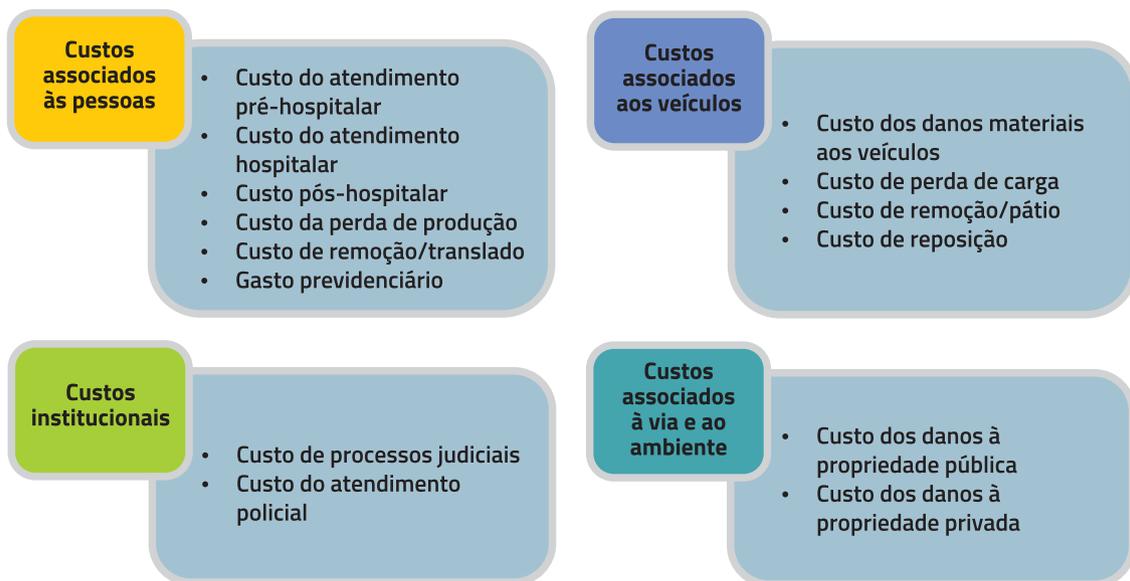
fragmentar os custos dos acidentes em componentes, e transferibilidade, que admite a possibilidade de extrapolar resultados de um local para outro no Brasil [11].

Os custos dos acidentes podem, então, ser estimados utilizando-se a metodologia dos custos diretos, segundo a qual há quatro principais componentes dos custos relacionados aos acidentes [11]:

- pessoas: cuidados com saúde, perda de produção, remoção e traslado da vítima;
- veículos: danos materiais do veículo, perda de carga, remoção/guincho, reposição;
- via e meio ambiente onde ocorreu o acidente: danos à propriedade pública e privada;
- instituições públicas envolvidas nos acidentes: judiciais e atendimento.

Os custos associados a cada um desses componentes (pessoas, veículos, via/meio ambiente e custos institucionais) são calculados conforme os itens apresentados na Figura 3.1.

Figura 3.1: Componentes dos custos dos acidentes



Fonte: elaborado pelo autor com base em [11]

Portanto, a função global dos custos dos acidentes é dada pela Equação 3.7, que permite estimar o custo médio de um acidente.

$$C_{\text{acidentes}} = C_{\text{pessoas}} + C_{\text{veículos}} + C_{\text{via/ambiente}} + C_{\text{institucionais}} \quad \text{Eq. 3.7}$$

O IPEA apresenta os custos de acidentes de acordo com as vítimas envolvidas, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Custos médios dos acidentes (em R\$, em dez/2020)¹⁰

Severidade do acidente	Custo médio (R\$, dez/2020)
Acidente com vítima fatal	917.677
Acidente com vítima com ferimentos	133.544
Acidente sem vítimas	32.436

Fonte: elaborado pelo autor com base em [13]

A partir dos dados disponibilizados no INFOSIGA SP¹¹ é possível estimar o custo dos acidentes em 2019 e 2020 no estado de São Paulo. A Tabela 3.2 apresenta os dados sintetizados dos acidentes ocorridos nas rodovias do estado de São Paulo. No período de 2019 e 2020, o custo total de acidentes foi próximo a R\$ 9,5 bilhões.

¹⁰ Estimativa feita com base em dados das rodovias federais, de 2014, atualizado pelo IPCA (variação de 38,03% no período).

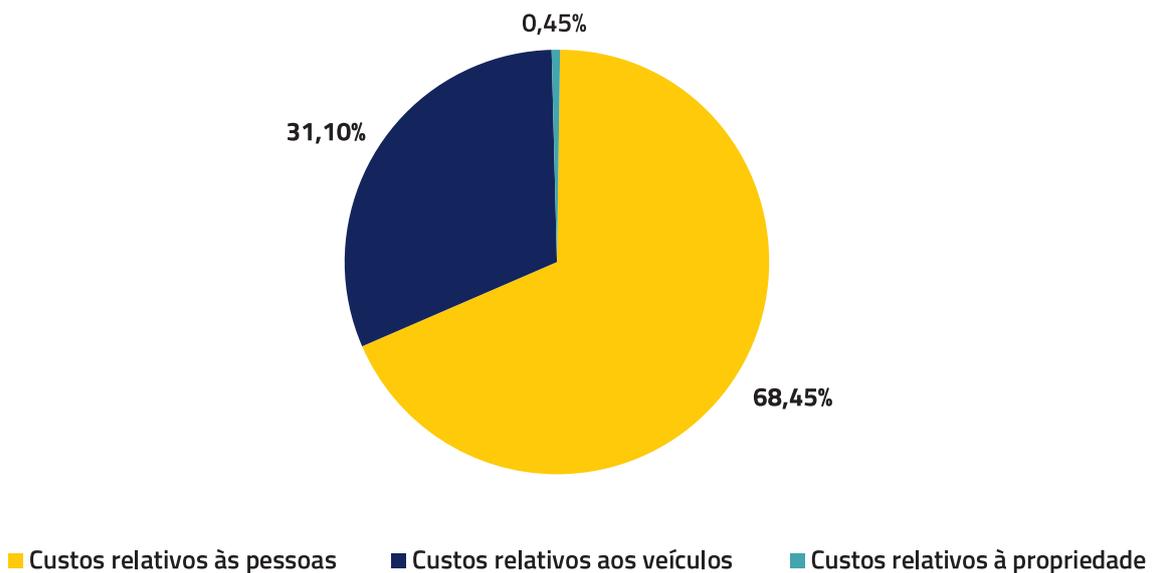
¹¹ INFOSIGA SP é uma base de dados atualizada mensalmente com estatísticas de acidentes no trânsito no território do estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.infosiga.sp.gov.br/>. Acesso em 29 nov. 2021.

Tabela 3.2: Custo de acidentes no estado de São Paulo, em 2019 e 2020

Severidade do acidente	Número de ocorrências		Custo total (em milhões de reais)
	2019	2020	
Acidente com vítima fatal	2.221	1.957	R\$ 3.834,00
Acidente com vítima com ferimentos	20.318	18.472	R\$ 5.180,00
Acidente sem vítimas	6.543	6.190	R\$ 413,00
Total	29.082	26.619	R\$ 9.427,00

Fonte: elaborado pelo autor com base em [13]

Por fim, vale destacar que os custos dos acidentes nas rodovias federais são compostos majoritariamente por custos relativos às pessoas, seguido por custos relativos aos veículos, como mostra o Gráfico 3.1.

Gráfico 3.1: Custos relativos dos acidentes em rodovias federais brasileiras

Fonte: elaborado pelo autor com base em [11]

O foco das políticas públicas deve ser a redução da severidade dos acidentes e preservação de vidas. Nesse sentido, verifica-se que o elevado número de mortes no trânsito é um problema de saúde pública [11].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Highway Safety Manual**. 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2010
- [2] BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Norma ABNT NBR 10697: Pesquisa de acidentes de trânsito — Terminologia**. Rio de Janeiro, Brasil, 09 nov 2018
- [3] FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto “Coca” *et al.* **Segurança Viária**. Ed: Suprema Gráfica e Editora. São Carlos, SP, Brasil, 2012
- [4] REINO UNIDO, Scottish Government, Department for Transport. **Reported Road Casualties Great Britain: 2015 Annual Report, Moving Britain Ahead**. Londres, Reino Unido, 2016
- [5] Organização Mundial da Saúde (OMS). **Sistema de dados: Um Manual de Segurança Viária para Gestores e Profissionais da Área**. Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2012
- [6] DIÓGENES, M. C.; LINDAU, L. A. **Avaliando Ações de Segurança Viária através de indicadores**. Revista Transportes, vol. XII, p. 29-36. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2005
- [7] WILDE, Gerald J. S. **Risk Homeostasis Theory: an Overview**. Injury Prevention, vol. 4, nº 2, p. 89-91. Kingston, Ontário, Canadá, 1998. doi: 10.1136/ip.4.2.89
- [8] BRASIL, Ministério das Cidades, Conselho Nacional de Trânsito, Departamento Nacional de Trânsito. **Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (Pnatrans)**. Brasil, 2018
- [9] SÃO PAULO, Agência de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP). **Locais Críticos de Segurança**. São Paulo, Brasil, 2017
- [10] BRASIL, Ministério da Economia, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Impactos Socioeconômicos dos Acidentes de Transporte no Brasil no Período de 2007 a 2018**. Brasil, 2020
- [11] BRASIL, Ministério da Economia, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras**. Brasil, 2006
- [12] BRASIL, Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), TTC Engenharia de Tráfego e Transportes Ltda. **Estudo do Custo das Externalidades Negativas da Mobilidade das Pessoas nos Vários Modos de Transporte no Brasil**. Vol. 24. Brasil, 2015
- [13] BRASIL, Ministério da Economia, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea**. Brasil, 2015



FATORES DE RISCO E FATORES CONTRIBUINTES PARA OS ACIDENTES

Neste Manual, fatores de risco são definidos como os elementos que estão presentes nas vias ou em suas laterais, os quais podem contribuir para a ocorrência de acidentes e/ou aumentar sua severidade, quando ocorrem. Fatores contribuintes são os elementos de risco presentes na rodovia que, de fato, influenciaram na ocorrência do acidente, os quais são identificados após o evento. Assim, são chamados fatores contribuintes aqueles fatores de risco que contribuem para o aumento da probabilidade da ocorrência dos acidentes, para o aumento da severidade e das consequências destes acidentes. Os fatores de risco ou contribuintes estão associados ao ser humano, às características da rodovia, dos veículos e do ambiente viário.

Os acidentes de trânsito ocorrem geralmente por uma convergência de fatores de risco, sejam eles determinantes, os quais contribuem diretamente, sejam não determinantes, que contribuem indiretamente [1]. A combinação dos fatores de risco, ocorrendo simultaneamente, pode ser responsável pela deflagração de um acidente. Dessa forma, quanto mais fatores de risco estiverem presentes no mesmo local, ao mesmo tempo, maior a chance de haver um acidente.

O estudo dos fatores contribuintes é fundamental para a compreensão das situações anômalas em que ocorrem os acidentes [2]. No entanto, é importante interpretar o conjunto de fatores de risco e de fatores contribuintes e suas relações, pois as interações dos elementos pessoa–via–veículo–meio ambiente atuam como um sistema complexo e inter-relacionado. Pode-se reduzir a frequência e a severidade dos acidentes considerando os fatores de risco e fatores contribuintes e em que momento do acidente atuam: antes do acidente são fatores de risco, durante ou depois são fatores contribuintes. Alguns dos fatores de risco e fatores contribuintes que mais influenciam na ocorrência e/ou na severidade dos acidentes são [3]:

- velocidade;
- exposição ao tráfego;
- comportamento e condição física das pessoas;
- condições da via e do ambiente ao redor;
- projeto e manutenção da via e veículos, incluindo novas tecnologias;
- provisão de tratamento médico e reabilitação pós-acidente.

A velocidade, por ser um fator bastante relevante tanto para a ocorrência quanto para severidade dos acidentes, é abordada em seção específica deste capítulo (item “4.1.1 — Velocidade”). A exposição ao tráfego é outro fator de risco bastante relevante. Quanto maior a exposição, maior o risco, dessa forma, aqueles que se locomovem mais estão mais suscetíveis a se envolverem em acidentes. A exposição é a quantidade de movimento de um indivíduo ou veículo ou grupo de indivíduos ou de veículos expostos ao tráfego, medida pelo deslocamento de uma população ou frota por unidade de tempo. Assim, exposição expressa a distância percorrida, em quilômetros, por todos os usuários ou veículos da via, ou ainda a média desses indivíduos ou veículos. É possível calcular a exposição por modo de transporte ou pelo conjunto de modos de transporte.

Um aspecto relevante ao avaliar a exposição é o modo de transporte e a composição do tráfego, uma vez que o diferencial de energia cinética entre veículos e pedestres é muito significativo, assim como entre veículos leves, veículos pesados, motocicletas e ciclistas. Os usuários que correm mais riscos são os motociclistas, seguidos por ciclistas, pedestres, ocupantes de automóveis e, por último, ocupantes de ônibus e de

caminhões. Para pedestres, o índice de acidente por quilômetro percorrido é de quatro a seis vezes maior do que o dos ocupantes de automóvel; e, para ciclistas, de seis a nove vezes maior [2]. Os fatores de risco associados à exposição são apresentados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Fatores de risco associados à exposição ao tráfego

Elemento	Fator de risco geral	Fator de risco específico
Exposição	Fluxo de tráfego	Quanto maior a exposição ao tráfego, maior a probabilidade de se envolver em acidentes.
		Efeito do volume de tráfego na Segurança Viária.
		Congestionamento como fator de risco.
		Ocorrência de acidentes secundários (decorrentes das perturbações causadas por outros acidentes).
		Risco associado à velocidade e à composição de tráfego, incluindo exposição a diferenciais de energia cinética pelos diferentes modos de transporte.
		Risco associado à distribuição do fluxo na infraestrutura viária.

Fonte: adaptado de [4]

Apesar de muitos fatores de risco serem conhecidos, não é possível prever com precisão a ocorrência de um acidente no tempo e espaço, pois o resultado da combinação desses fatores, embora aumente a probabilidade da ocorrência de acidentes, é incerto [2]. Ao utilizar fatores de risco, a análise da possibilidade de ocorrência de acidentes deve ser probabilística. Não se sabe de antemão quais fatores exatamente ocorrerão em cada situação e nem qual o resultado da combinação entre eles.

É importante destacar que nenhum fator de risco pode ser considerado condição necessária ou suficiente para a deflagração de um acidente [2]; fatores de risco são, portanto, um conceito causal estocástico. Não há uma causa determinada para a ocorrência de um acidente, mas sim um conjunto de fatores que corroboram para sua ocorrência.

Entre os fatores de risco e fatores contribuintes para ocorrência e/ou severidade dos acidentes, é possível identificar os que ocorrem antes, durante e depois do acidente. Os eventos anteriores ao acidente são responsáveis por sua deflagração e consequências, uma vez que contribuem para o aumento do risco. Assim, é importante a compreensão desses fatores para evitar que haja falhas de projeto e manutenção das rodovias, bem como falhas dos usuários, mitigando a probabilidade da ocorrência de acidentes. Já os eventos que ocorrem durante os acidentes contribuem para a sua severidade e revelam como as soluções de engenharia podem contribuir para a mitigação das consequências, como na utilização de *airbags* ou sistemas de contenção viária adequados. Os eventos pós-acidente são determinantes para seu resultado e definem como os danos e os ferimentos podem ser reduzidos, por meio de atendimento rápido e eficaz e de tratamentos médicos emergenciais especializados [3]. Ressalta-se a importância de o atendimento emergencial ser realizado nos primeiros trinta minutos, preferencialmente, ou até uma hora após a ocorrência do acidente, uma vez que nesse período há uma maior probabilidade de que o atendimento médico imediato possa evitar a morte, bem como mitigar o potencial de sequelas graves a longo prazo [5].

Neste capítulo, são apresentados os principais fatores de risco que contribuem para a ocorrência e/ou para a severidade dos acidentes, relacionados aos elementos do trânsito (ser humano, veículos e ambiente viário, incluindo a própria via). Além disso, é apresentada a Matriz de Haddon, utilizada para a identificação e análise dos fatores contribuintes, e é introduzido o conceito de Homeostase de Risco.

4.1 Fatores de risco que contribuem para a ocorrência dos acidentes

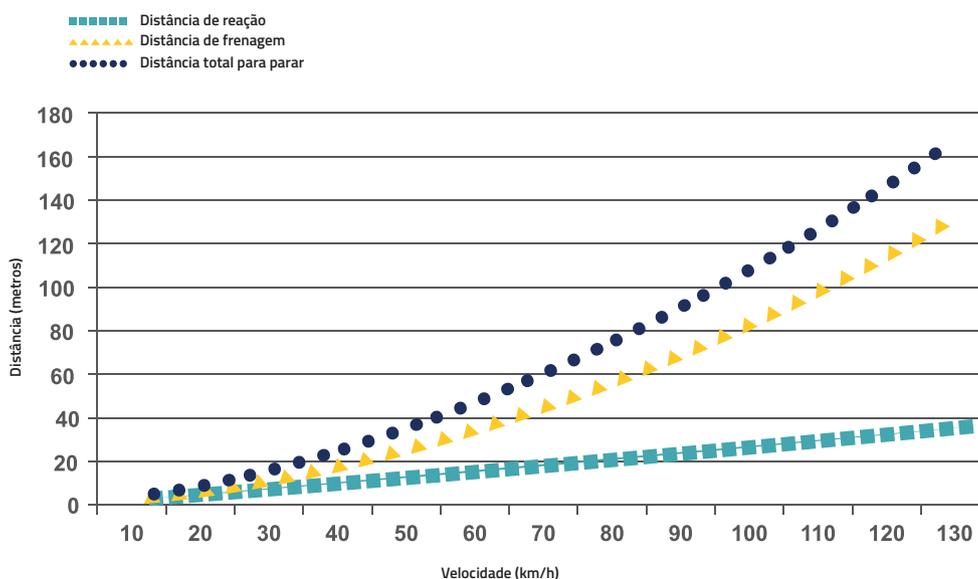
Os principais fatores de risco e/ou fatores contribuintes são destacados a seguir. Esses fatores estão relacionados ao projeto da rodovia, mas também à sua operação e manutenção, podendo ser elementos da via, do meio ambiente, do veículo ou o comportamento dos usuários.

4.1.1 Velocidade

A velocidade é um dos fatores contribuintes mais relevantes, pois exerce grande influência na probabilidade de ocorrência e na severidade dos acidentes. Apesar de ser difícil distinguir em que aspecto sua influência é mais acentuada, há consenso entre os profissionais de Segurança Viária de que há uma contribuição tanto para a ocorrência quanto para severidade, estando associado às características do usuário, da via e do veículo. Quando bem dimensionada, a velocidade é uma medida bastante eficaz na criação de um Sistema Seguro [6].

Sabe-se que quanto maior a velocidade, maior a distância total percorrida pelo motorista caso seja necessário frear. O Gráfico 4.1 apresenta a variação da distância de reação, da distância de frenagem e da distância total para fazer o veículo parar, a depender da velocidade.

Gráfico 4.1: Distância de reação, frenagem e parada em função da velocidade

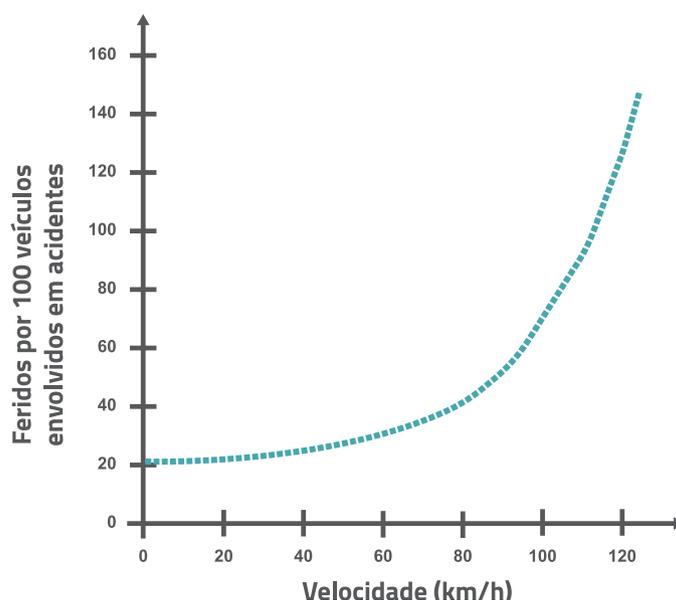


Fonte: traduzido de [7]

Nesse contexto, ao trafegar em velocidades elevadas, qualquer anormalidade, como distração, irregularidade na pista, defeito mecânico do veículo etc. pode fazer com que o motorista perca o controle do veículo e conseqüentemente haja um acidente [1].

Os danos aos veículos e às pessoas dependem da energia da colisão, desaceleração, variação de velocidade e energia cinética dissipada na deformação no momento do acidente. Todos esses fatores aumentam quanto maior for a velocidade imediatamente anterior ao acidente [8]. O Gráfico 4.2 apresenta a relação da velocidade com o número de feridos por 100 veículos envolvidos em acidentes.

Gráfico 4.2: Feridos por 100 veículos envolvidos em acidentes, de acordo com a velocidade



Fonte: traduzido de [9]

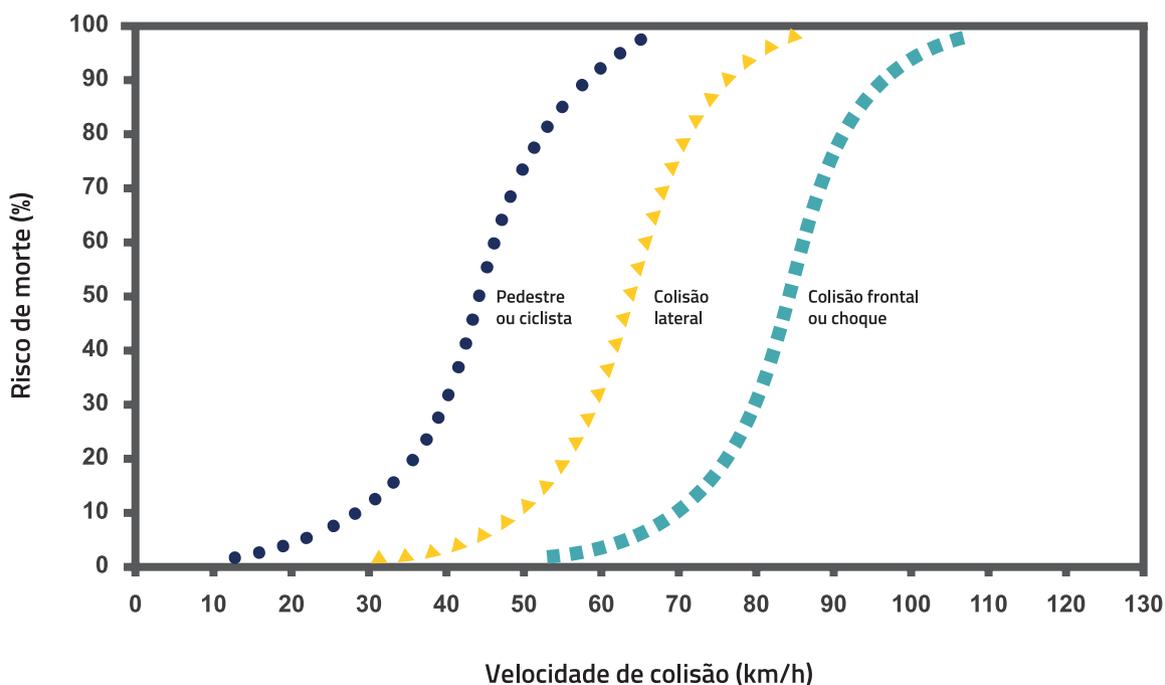
A relação exponencial entre velocidade e energia faz com que pequenos acréscimos de velocidade resultem em consideráveis aumentos no número de feridos, especialmente para velocidades acima de 60 km/h. Ao trafegar em um veículo a 80km/h, a chance de morte se houver um acidente é vinte vezes maior para seus ocupantes do que se esse estivesse a 30 km/h [10]¹. Os pedestres, por sua vez, têm uma chance de 90% de sobreviver a um acidente com um automóvel a 30 km/h e apenas 50% se o veículo estiver com velocidade igual ou superior a 45 km/h, como pode ser observado no Gráfico 4.3 [10]².

¹ Insurance Institute for Highway Safety (IIHS). IIHS Facts: 55 speed limit. Arlington, VA, Estados Unidos, 1987, citado em WHO, 2004, p. 77 [10].

² PASANEN, E. Driving speeds and pedestrian safety. Helsinki University, Finland, 1991, citado em WHO, 2004, p.77 [10].

Dessa forma, velocidades de tráfego excessivas, acima do limite regulamentado, podem ser um importante fator de risco para a ocorrência de acidentes com vítimas e, principalmente, vítimas fatais. Para cada 1 km/h adicional de velocidade, a incidência de acidentes pode crescer entre 2% e 7%, dependendo do tipo de via e da velocidade de tráfego [11]. O Gráfico 4.3 ilustra a relação entre a velocidade e o risco de morte para diferentes tipos de acidentes.

Gráfico 4.3: Relação da velocidade de impacto com o risco de morte de tipos de acidentes distintos



Fonte: traduzido de [12]

A redução da velocidade pode promover uma redução no número de acidentes e de mortes no trânsito. Estudos recentes sugerem que os efeitos esperados no número de acidentes resultantes de uma redução na velocidade não dependem apenas da variação da velocidade, mas também da velocidade inicial [13]. Ou seja, a redução esperada na ocorrência de acidentes para uma mudança de velocidade de 100 km/h para 90 km/h deve ser maior que a redução esperada no número de acidentes para uma mudança de 30 km/h para 20 km/h, mesmo que a variação relativa da velocidade seja a mesma nos dois casos.

A redução sistemática da velocidade regulamentada tem se mostrado benéfica em áreas urbanizadas com presença de usuários vulneráveis. Alguns países já estão adotando essa medida, a qual tem sido reconhecida como boa prática na comunidade internacional. Os dados de acidentes podem auxiliar nessa tomada de decisão: especialmente em locais em que se verifica demasiado número de acidentes, pode ser necessário reduzir a velocidade.

Contudo, velocidade elevada não necessariamente significa velocidade acima do limite regulamentado [1]. Em condições operacionais com nível de serviço inferior (quando há veículos tentando trafegar em velocidade mais alta que o fluxo) ou em condições climáticas adversas (quando há neblina ou chuva), o limite seguro de velocidade pode estar abaixo do limite legal. Nesse sentido, pode-se ter uma velocidade de tráfego inadequada à situação, mesmo dentro do limite legal.

Diversos estudos sugerem que, tanto os motoristas que viajam a velocidades menores do que a média da corrente de tráfego, como os motoristas que viajam a velocidades mais elevadas, têm maiores índices de envolvimento em acidentes que aqueles que estão mais próximos da velocidade média [2]. Velocidades diferenciais mais elevadas quebram as expectativas dos motoristas e contribuem para a ocorrência dos acidentes [1].

Por esse motivo, os critérios de projeto devem estar coerentes com a velocidade proposta tanto quanto possível, de forma a reduzir diferenças de velocidade praticadas na rodovia. Há estudos que sugerem que seria mais adequado que veículos pesados e veículos leves trafegassem com velocidades próximas, ambos a velocidades mais baixas, a fim de diminuir o espectro de velocidades na rodovia. Considerações sobre a determinação da velocidade de projeto são abordadas no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias”.

4.1.2 *Interação pessoa–via–veículo–meio ambiente*

Como mencionado, os fatores de risco e os fatores contribuintes para a ocorrência dos acidentes podem estar relacionados aos usuários, à via, aos veículos e/ou ao meio ambiente. O Quadro 4.2 apresenta um resumo sobre esses conceitos.

Quadro 4.2: Definição de fatores humanos, da via, do meio ambiente e do veículo

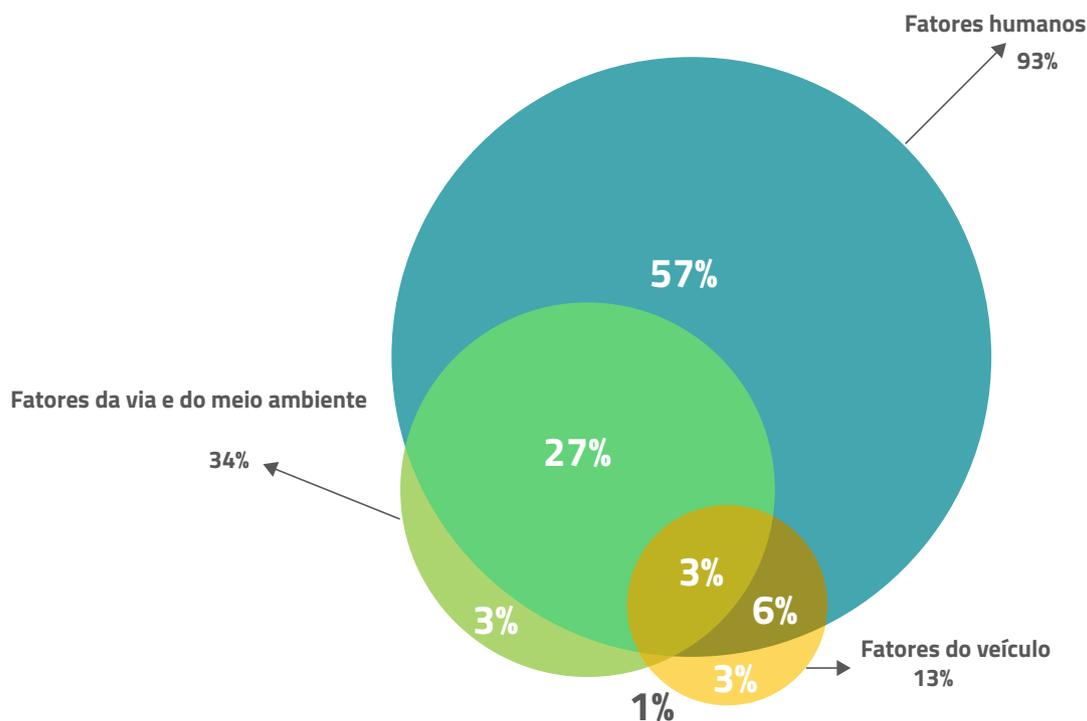
Tipo de fator	Definição
Fatores humanos	São fatores associados ao comportamento do usuário, pedestre ou condutor, ligados aos valores limites fisiológicos, cognitivos e psicológicos que contribuem para os erros.
Fatores da via	São fatores relacionados à ineficiência da infraestrutura viária, os quais contribuem para a ocorrência do acidente. Esses riscos têm relação com o projeto, a manutenção e a operação do sistema viário.
Fatores do meio ambiente	São fatores ligados à meteorologia, período do dia e ao ambiente no entorno da rodovia, os quais podem prejudicar a segurança do trânsito.
Fatores do veículo	São fatores associados à manutenção ou projeto inadequado ou ultrapassado de veículo, sem os itens de segurança mais modernos e eficazes.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [6], [14]

Entre os fatores mencionados, os fatores humanos são aqueles que apresentam maior risco. Grande parte dos acidentes tem relação com o comportamento dos usuários envolvidos e, na maioria dos casos, pode-se identificar erros ou escolhas inadequadas momentos antes do acidente [2].

Além disso, há fatores institucionais ligados à regulamentação e à fiscalização do trânsito. A generalidade da legislação de trânsito não é conhecida pelos usuários, o que dificulta que a lei seja cumprida. O treinamento dos condutores pode ser inadequado, especialmente no que tange à direção defensiva. Os pedestres, por sua vez, podem não conhecer a legislação vigente, e os equipamentos de fiscalização podem ser ruins ou insuficientes. No entanto, algumas vezes, mesmo conhecendo a legislação vigente, os usuários violam deliberadamente dispositivos e leis de controle de tráfego, o que pode levar a acidentes.

A Figura 4.1 ilustra a relação dos fatores de risco e/ou fatores contribuintes: humanos, via, meio ambiente e veículo. Diversos estudos apontam resultados semelhantes ao apresentado. Nesse sentido, os números apresentados na Figura 4.1 têm a função de ilustrar as proporções, mais do que informar valores exatos.

Figura 4.1: Fatores de risco e/ou contribuintes para os acidentes

Fonte: traduzido de [3]

É insuficiente a explicação de que um acidente ocorreu apenas devido a uma falha humana. A análise deve ser mais profunda, considerando o que levou o usuário ao erro. Há casos em que a infraestrutura demanda um desempenho incompatível com as capacidades humanas, dificultando a realização da tarefa de dirigir e levando o usuário a cometer erros. Os motoristas podem ficar sobrecarregados com o processamento de informações necessário para realizar várias tarefas simultaneamente. Os usuários contam com conhecimentos prévios para processar as informações de maneira mais rápida, baseados em padrões de resposta já aprendidos. Quando suas expectativas não são atendidas, são mais propensos a cometer erros [3].

Há evidências de que mesmo que todos os usuários da rodovia cumprissem as normas de trânsito, as mortes cairiam apenas 60% e os ferimentos, 40%. Observou-se que cerca de 37% das mortes e 63% dos ferimentos graves não envolvem o descumprimento das normas de trânsito. Conclui-se que a maior parte dos erros humanos que levam aos acidentes deve-se a uma condição humana e ao uso da rodovia, não a uma violação deliberada ou intencional de regras [6].

Considerar os fatores humanos significa compreender que os erros dos usuários são, em certa medida, esperados e dependentes da forma como as pessoas se relacionam com a via e com o veículo. A abordagem do Sistema Seguro, detalhada no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias”, afirma que a responsabilidade pela ocorrência dos acidentes é compartilhada entre usuários, projetista e autoridade sobre a via, responsável por sua boa operação e manutenção, uma vez que projeto, operação e manutenção adequados são capazes de minimizar e até evitar erros dos usuários.

BOX 1**A TAREFA DE DIRIGIR: NAVEGAÇÃO, ORIENTAÇÃO E CONTROLE**

Para que a tarefa de dirigir seja cumprida com segurança, garantindo uma boa interação pessoa–via–veículo–meio ambiente, o motorista deve ser capaz de desempenhar subtarefas, muitas vezes simultaneamente. As principais subtarefas são: controle, orientação e navegação, as quais possuem uma hierarquia baseada na complexidade e primazia de cada uma para a tarefa geral de direção. A atenção do motorista alterna entre cada subtarefa de acordo com a circunstância. A navegação é a tarefa mais complexa, no topo da pirâmide [15]. A Figura 4.2 apresenta a hierarquia da tarefa de dirigir.

Figura 4.2: Hierarquia da tarefa de dirigir



Fonte: adaptado de [15]



- **controle:** são as atividades relacionadas à interação com o veículo, como mantê-lo na velocidade desejada, na faixa de rodagem. Os motoristas estão continuamente fazendo ajustes e usando as informações recebidas da via para manter o controle, mesmo que de maneira inconsciente;
- **orientação:** trata-se de interagir com outros veículos (seguido, passando, convergindo etc.), com distância e velocidade seguras, e seguindo a sinalização de tráfego. Os motoristas utilizam julgamento, estimativa e previsão em um ambiente de mudança constante;
- **navegação:** consiste em seguir um caminho da origem ao destino, lendo sinais de orientação e usando pontos de referência. Há duas fases: (i) anterior à viagem, na qual há o planejamento e a seleção de rotas e vias e (ii) durante a viagem, na qual os planos são seguidos. Esta tarefa é hoje facilitada pelo uso de assistentes eletrônicos de condução.

Pelo Princípio de Processamento Hierárquico da Informação Viária, as tarefas na base da pirâmide são de maior prioridade, tendo a primazia sobre as demais. Em situações emergenciais, quando há quebra de expectativas exigindo manobras de urgência, as tarefas de Controle assumem a prioridade em detrimento das demais, podendo prejudicar as tarefas de Navegação e Orientação [15].

Como há uma quantidade limite de informações que um motorista pode processar, quando esse limite é ultrapassado, a tendência é que parte das informações seja negligenciada. Ocorrem erros se uma informação crucial não for processada, mesmo que outras, menos relevantes, sejam. Quando os motoristas podem se basear em experiências passadas para realizar a tarefa de dirigir, há menos informação nova a ser processada e a tarefa de dirigir se torna mais fácil.

Para minimizar erros dos usuários, as informações devem ser apresentadas de maneira clara, sequencial, espaçada e hierárquica, para facilitar seu processamento [15].

As responsabilidades legais dos acidentes são diferentes de suas causas. Quando os condutores são legalmente responsabilizados, não significa que o acidente ocorreu exclusivamente devido a um erro humano. Ou, ainda, pode haver situações em que ocorrem erros humanos, mas os usuários da via não são responsabilizados legalmente pelo acidente — como comentado anteriormente, as pessoas são falhas e estão suscetíveis a cometer erros, mesmo que sem intenção. Os condutores têm o dever de evitar as atitudes de risco, independentemente dos fatores externos, e possuem responsabilidades perante a lei. No entanto, essas responsabilidades legais não significam que os condutores são culpados pela maior parte dos acidentes, como comumente se diz. Para a pesquisa sobre acidentes, é importante salientar essa distinção entre culpa e responsabilidade, pois auxilia na determinação dos fatores de risco [2]. Os responsáveis pela rodovia, desde o projeto, manutenção, operação e fiscalização, têm também deveres e responsabilidades.

4.1.2.1 *Fatores de risco associados ao ser humano*

Há muitos fatores de risco associados ao ser humano. No entanto, em diversos casos, é difícil medi-los satisfatoriamente, uma vez que certas características estão associadas a atitudes e comportamento dos usuários. Alguns fatores são afetados pela tentativa de mensurá-los, como a atenção no trânsito: qualquer motorista seria mais atento se soubesse que está sendo examinado. Falta informação a respeito dos fatores humanos (em boletins de ocorrência, comumente, há apenas registros de idade e sexo), dificultando a análise detalhada dos fatores contribuintes para o acidente [2].

Os principais fatores de risco associados ao ser humano são, mas não somente [1]:

- emprego de velocidade inapropriada;
- ingestão de álcool, drogas ou medicamentos;
- cansaço e sonolência;
- conduta perigosa;
- falta de habilidade motora, cognitiva;
- falta de experiência;
- desvio de atenção;

- não ver e não ser visto;
- idade, experiência, agilidade e resistência corporal.

Aproximadamente 90% da informação utilizada pelos motoristas é visual [3]. No entanto, a recepção visual é seletiva e depende do estado físico e emocional do motorista. Há cinco importantes aspectos em relação à visão que devem ser considerados, os quais são fortemente influenciados pela velocidade do veículo [3]:

- acuidade visual: habilidade de ver detalhes à distância;
- sensibilidade de contraste: habilidade de detectar pequenas diferenças na luminância entre um objeto e seu fundo;
- visão periférica: habilidade de detectar objetos que estão fora da área de visão mais precisa do olho;
- movimento em profundidade: habilidade de estimar a velocidade de outro veículo a partir da variação de sua posição;
- pesquisa visual: habilidade de pesquisar o cenário da rodovia em rápida mudança para coletar informações.

Outro importante aspecto do comportamento do motorista é o Tempo de Percepção e Resposta (PRT, do inglês, *Perception–Response (or Reaction) Time*). É o tempo necessário para: (i) detecção, (ii) reconhecimento, (iii) decisão e (iv) reação. Como padrão de projeto, normalmente utiliza-se 2,5 segundos, mas esse não é um valor fixo, pois depende de diversos fatores humanos, como os previamente discutidos. Se o usuário estiver em um sistema rodoviário muito complexo, o PRT poderá ser muito maior do que o mencionado. As quebras de expectativa também aumentam o PRT. As rodovias precisam ser um sistema harmônico e simples para diminuir os erros humanos, os acidentes e suas consequências. Esse princípio deve ser reforçado por todas as autoridades rodoviárias, nas fases de planejamento, projeto e operação [6].

BOX 2

CONCEITO DE EXPECTATIVA



Os usuários da via têm expectativas em relação à operação do sistema viário. Essas expectativas determinam como os usuários responderão às situações, as quais influenciam na velocidade praticada e no processamento de informações. Quando essas expectativas são quebradas, normalmente o tempo de percepção e resposta é maior e a decisão tomada pode ser errônea, o que pode levar a acidentes. Essa é uma das considerações mais importantes para a realização de um projeto, pois auxilia no desempenho dos usuários da via [16].

A expectativa dos usuários é fortemente influenciada pelo ambiente rodoviário, como as características da via, do ambiente ao seu redor e o comportamento dos demais usuários. Estudos mostram que os usuários esperam que o ambiente observado na via se mantenha constante pelos próximos 1 a 2 km [17]. Há dois tipos de expectativa [16], [18]:

- Expectativa populacional: relativa à experiência de longo prazo dos usuários, à educação recebida, à cultura e a aprendizados. Por exemplo, expectativa de que todos os usuários trafegam no mesmo sentido; muitas vezes, usuários na contramão não são vistos.
- Expectativa situacional: relativa ao curto prazo, à situação corrente da rodovia. Por exemplo, expectativa de que um usuário estará em certa posição nos segundos seguintes, o que faz com que manobras bruscas levem, muitas vezes, a acidentes.

Sabendo que os erros humanos dependem da interação entre os usuários, a via, o meio ambiente e o veículo, não são apenas ações de educação de trânsito, fiscalização e punição aos motoristas que resolvem os problemas de Segurança Viária. Sem minimizar essas medidas, investimentos em engenharia de tráfego apresentam vantagens se comparados a elas, uma vez que os resultados são imediatamente comprováveis e tendem a ser mais duradouros [19].

4.1.2.2 Fatores de risco associados à via

Os riscos associados à via têm relação com o projeto, a manutenção e a operação do sistema viário. O Quadro 4.3 apresenta os principais fatores de risco associados à via.

Quadro 4.3: Fatores de risco associados à via

Elemento do sistema rodoviário	Fatores de risco específicos
Consistência de projeto	Incompatibilidade do projeto com a velocidade diretriz (quebra da velocidade diretriz); falta de coordenação entre alinhamento horizontal e vertical; distância de visibilidade incompatível com a velocidade operacional; falta de legibilidade em interseções em nível e desnível; acessos não controlados ou sem faixas de aceleração e desaceleração; presença de curva de raio restrito após longo trecho em tangente ou curvas de raios maiores.
Superelevação e superlargura	Superelevação inferior ao exigido pela velocidade de projeto; ausência ou insuficiência de superlargura, sobretudo em rodovias com grande tráfego de veículos pesados.
Raio de curvatura	Ausência de curvas de transição; frequência elevada de curvas em trechos de topografia ondulada ou plana; presença de curva de raio restrito após longo trecho em tangente ou curvas de raios maiores; existência de curva de raio pequeno.
Faixas de tráfego	Larguras de faixa de tráfego inferiores às recomendadas para a classe da via; restrição pontual do número de faixas ou de suas larguras, causando pontos de lentidão; ausência de faixas adicionais em rampas ascendentes longas e de greide acentuado; ausência ou mau dimensionamento de faixas de aceleração e desaceleração.
Superfície de rolamento	Superfície de rolamento incapaz de proporcionar condições de atrito adequadas entre pneu e pavimento, seja por fenômenos como exsudação ou desgaste; ocorrência de painelas ou trilhas de roda pronunciadas; ocorrência de degraus entre faixas de rolamento adjacentes ou entre acostamentos e faixas de rolamento; deficiências na drenagem causadas por problemas de coroamento ou superelevação.
Sinalização viária	Ausência de sinalização horizontal e vertical adequada; ausência de sinalização retrorrefletiva; ausência de manutenção adequada da sinalização horizontal e vertical; inexistência de avisos prévios de mudanças nas características da via; baixa retrorrefletividade em condições de visibilidade reduzida (noturna ou sob chuva); deficiência ou ausência de conserva (roçada), prejudicando a visibilidade da sinalização vertical.



Elemento do sistema rodoviário	Fatores de risco específicos
Iluminação	Ausência de iluminação em trechos urbanizados e em trechos montanhosos; ofuscamento causado por iluminação pública em área adjacente; ausência de iluminação em túneis, interseções em nível e em desnível.
Barreira central	Ausência de segregação em rodovias com canteiros centrais estreitos ou taludes críticos; ausência ou dimensões restritas nas faixas de segurança, entre barreiras e a faixa de tráfego; ausência de dispositivos antiofuscamento nos casos de barreira baixa.
Acostamento e lateral da via	Ausência de acostamento; acostamento com largura insuficiente; presença de degrau superior a cinco centímetros entre a faixa de rolamento e o acostamento; inexistência ou insuficiência de zona livre lateral segura ³ ; circulação de pedestres e ciclistas nas proximidades da via; presença de obstáculos fixos não protegidos dentro da zona livre lateral; presença de elementos de drenagem não traspassáveis; presença de taludes críticos.
Acessos à rodovia	Alta densidade de acessos; ausência de faixas de aceleração e desaceleração; deficiências na legibilidade de agulhas de entrada ou saída; presença de acessos irregulares.
Interseções em desnível	Capacidade insuficiente das alças; comprimento de entrelaçamento insuficiente; velocidade de projeto inadequada; ausência de dispositivos de contenção viária.
Interseções em nível	Presença de conflitos entre trajetórias com grandes diferenças de velocidades; ausência de iluminação; implantação em locais com curvas verticais convexas ou entre curvas horizontais.
Zona de obras ou serviços de conserva/manutenção	Ausência de sinalização de advertência nos trechos antecedendo locais de obras; falta de iluminação e/ou sinalização vertical retrorrefletiva de advertência; balizamento e/ou canalização com comprimento insuficiente.
Pontes, viadutos e túneis	Ausência de sinalização vertical e horizontal específica e dispositivos de contenção para zonas de transição antes e depois da obra de arte.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [4]

³ O conceito de zona livre lateral é apresentado no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”.

4.1.2.3 *Fatores de risco associados ao meio ambiente*

Os fatores de risco associados ao meio ambiente dizem respeito às características do entorno da via e às condições meteorológicas. Nesse sentido, variam entre localidades, horários, dias da semana, estações do ano, entre outros. Os principais fatores de risco associados ao meio ambiente são, mas não somente [1]:

- chuva: reduz a aderência entre os pneus e a pista e diminui a visibilidade do motorista;
- vento forte: pode gerar perda de controle dos veículos, ocasionando mudança não intencional de faixa de rolamento ou saída da pista, e, em alguns casos, até mesmo o tombamento;
- neblina e fumaça: reduzem significativamente a visibilidade;
- óleo ou outro material lubrificante sobre a pista: provoca substancial redução do atrito entre os pneus e o pavimento;
- propaganda comercial: a poluição visual pode desviar a atenção dos condutores e dificultar o processamento das informações importantes da via;
- animais atravessando a rodovia: podem ocasionar atropelamento do animal, saída do veículo da faixa de rolamento ou mesmo da pista para desviar do animal (podendo ocorrer, neste caso, choque com obstáculo lateral, colisão com veículo vindo em sentido contrário, capotagem, tombamento etc.)
- noite: o período noturno apresenta maior risco do que o período diurno, pois a falta de luz natural diminui a visibilidade da via e dos demais usuários. Além disso, os usuários podem ter comportamentos mais arriscados, como velocidade mais alta ou dirigir embriagado.

4.1.2.4 *Fatores de risco associados aos veículos*

Muitos fatores de risco associados aos veículos têm relação com sua manutenção inadequada, como pneus com desgaste acentuado ou defeituosos, freios desregulados, sistema de suspensão/estabilização com problemas, luzes dos faróis ou das lanternas queimadas ou desreguladas, limpador do para-brisa sem funcionar ou com mau funcionamento, falta de buzina, espelho retrovisor quebrado ou com defeito etc. [1].

É importante que os veículos permitam uma boa visibilidade dos demais usuários da via, sejam eles motorizados ou não. Em alguns casos, elementos do projeto do veículo, como colunas ou retrovisor, podem atrapalhar a visão do motorista e criar pontos cegos. Por outro lado, existem características do veículo que facilitam sua percepção pelos demais usuários, como sua cor, tamanho, ruído produzido, entre outros [1].

Novas tecnologias têm contribuído para a Segurança Viária, como elementos de proteção passiva, tecnologia embarcada e demais tecnologias de ITS (*Intelligent Transportation Systems* ou, em português, Sistemas Inteligentes de Transporte). Esse tema será abordado com mais detalhes no “Capítulo 16 — Operação segura de rodovia”.

4.2 Fatores de risco que contribuem para a severidade dos acidentes

Os fatores de risco associados à severidade aumentam a probabilidade de haver vítimas quando ocorrer um acidente, especialmente vítimas graves e fatais. Além disso, podem incorrer em maiores danos materiais. As consequências para a qualidade de vida da vítima dependem não só da gravidade da lesão, mas também do sucesso dos tratamentos médicos logo após o acidente [2]. Os principais fatores de risco que contribuem para a severidade dos acidentes estão resumidos no Quadro 4.4.

Quadro 4.4: Principais fatores que influenciam a severidade dos acidentes

Fatores	Como afetam a severidade
Características dos veículos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ quanto menor a massa do veículo, menor a capacidade de dissipação de energia no momento do acidente e, portanto, menor será a proteção contra lesões para condutores e passageiros; ▪ veículos de duas rodas estão sujeitos à perda de estabilidade lateral, a qual pode levar à queda ou desvio de trajetória; ▪ ônibus e caminhões, com maior tamanho, são mais visíveis e são normalmente conduzidos por motoristas profissionais, a velocidades mais baixas.



Fatores	Como afetam a severidade
Características dos usuários	<ul style="list-style-type: none"> ▪ usuários mais idosos podem apresentar diminuição das funções cognitivas e fisiológicas (como atenção e processamento de informações), além de maior restrição motora. Já usuários muito jovens são menos experientes e podem ser mais imprudentes; ▪ mulheres tendem a ser mais cautelosas que homens ao dirigir, entretanto apresentam maior risco de lesões graves em acidentes. Diferenças intrínsecas de gênero com relação à estrutura óssea podem ser uma possível razão para a maior incidência de lesões nas mulheres. Além disso, o fato de os itens de segurança serem projetados para usuários masculinos também pode contribuir para essa diferença.
Uso de equipamentos de proteção individual	<ul style="list-style-type: none"> ▪ a utilização do cinto de segurança comprovadamente reduz a letalidade e a gravidade de lesões em todos os usuários de veículos, chegando à redução de 50% do risco de morte e de 47% do risco de ferimentos graves para condutores; ▪ o uso de dispositivo de retenção para crianças reduz em cerca de 50% as lesões graves e fatais; ▪ o uso de capacetes reduz o risco de morte em 44% para usuários de motocicletas. A utilização de outros equipamentos de proteção, como roupas especiais, diminui a probabilidade de ferimentos em aproximadamente 30%.
Presença de obstáculo desprotegido próximo à pista	<ul style="list-style-type: none"> ▪ em casos de choque, obstáculos fixos próximos à pista podem causar desacelerações muito acentuadas, excedendo os limites corporais; ▪ alinhado com resultados de diferentes países, no Brasil, cerca de 30% dos acidentes nas rodovias estão relacionados à saída de veículos da pista, sendo esse valor próximo a 25% no caso dos acidentes graves; ▪ nos Estados Unidos, os dispositivos amortecedores de impacto reduzem as mortes e lesões graves em mais de 75% e, no Reino Unido, em mais de 67%.
Atendimento às vítimas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ a qualidade do atendimento às vítimas no pós-acidente é de fundamental importância, desde a agilidade na detecção e identificação do local da ocorrência, até o deslocamento rápido para atendimento pré-hospitalar e a eventual remoção para a unidade de saúde mais próxima e adequada.
Velocidade no momento da colisão	<ul style="list-style-type: none"> ▪ maiores velocidades aumentam a distância de reação e de frenagem, incrementando a distância total de parada; ▪ quanto maior a velocidade, maior a energia no momento da colisão, aumentando a probabilidade de feridos e vítimas fatais de forma exponencial.



Fatores	Como afetam a severidade
Outros fatores	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>airbag</i>: quando utilizado junto com o cinto de segurança, reduz em 12% o risco de morte para motoristas em acidentes em geral e em 22% nas colisões frontais; ▪ tipo de acidente: colisões frontais e laterais normalmente são mais graves; ▪ posição onde se está sentado no carro: bancos traseiros geralmente são os mais seguros; ▪ configuração da via: terrenos montanhosos são mais perigosos em caso de saída da pista; ▪ dispositivos de proteção veicular modernos: deformações, pontos de ruptura, proteção ao usuário, controle de estabilidade e frenagem, controle de colisão, visão noturna, direção autônoma etc. podem ajudar a reduzir a severidade do acidente.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [20]

4.3 Matriz de Haddon

Matriz de Haddon é uma estrutura utilizada na determinação e ordenação dos fatores de risco e fatores contribuintes que influenciam um acidente, relacionando esses fatores a cada um dos três elementos que compõem o sistema de trânsito (fatores humanos, fatores do veículo ou fatores da via e do meio ambiente), no sentido de evitar os acidentes (antes do acidente), de minimizar as consequências dos acidentes no instante em que ocorrem (durante o acidente) e de minimizar os efeitos após os acidentes (depois do acidente).

O Quadro 4.5 apresenta alguns exemplos de fatores de risco e fatores contribuintes antes, durante e depois do acidente, relacionados a aspectos humanos, do veículo e da via e do meio ambiente. O mapeamento desses fatores é de suma importância na identificação de estratégias adequadas na prevenção de acidentes e na redução de seus danos.

Quadro 4.5: Exemplo de Matriz de Haddon para identificação dos fatores de risco e fatores contribuintes

	Fatores antes do acidente (contribuem para o aumento do risco)	Fatores durante o acidente (contribuem para a severidade)	Fatores depois do acidente (contribuem para o resultado)
Fatores humanos	Fatores socioeconômicos, fatores demográficos, distração/desatenção, fadiga e/ou julgamento deficientes, uso de celular, ingestão de álcool e outras drogas, velocidade inadequada e excessiva.	Vulnerabilidade à lesão, idade, não usar equipamentos de segurança, velocidade inadequada ou excessiva, não sobriedade.	Fatores demográficos, acesso a cuidados médicos, habilidades e rapidez de primeiros socorros.
Fatores do veículo	Pneus com desgaste acentuado ou defeituosos, freios desregulados, sistema de suspensão/estabilização com problemas, luzes dos faróis ou das lanternas queimadas, limpador do para-brisa com mau funcionamento, falta de buzina, espelho retrovisor com defeito, mistura de tráfego motorizado de alta velocidade com usuários vulneráveis da rodovia.	Projeto dos veículos (estrutura veicular, desempenho do sistema de freio, de direção, de suspensão/estabilização e de faróis), para-choques adequado para adsorção de energia, apoio de cabeça, operações de <i>airbag</i> , massa do veículo.	Facilidade de remover passageiros lesionados, vazamento de materiais perigosos.
Fatores da via e do meio ambiente	Práticas de planejamento do uso do solo que influenciam a duração da viagem e o modo de transporte, pista molhada, agregado do pavimento liso, declividade acentuada, buraco na via ou pavimento deteriorado, sistema de sinalização deficiente, limites de velocidade inadequados, ausência de locais para pedestres, projeto geométrico inadequado, falta de iluminação, visibilidade inadequada devido a fatores ambientais (dificultando a detecção de veículos e outros usuários da rodovia).	Pavimento sem aderência ou com granulometria inadequada, ambiente ao redor da rodovia (taludes críticos, obstáculos fixos desprotegidos próximos à via), objetos à beira da rodovia não protegidos contra acidentes ou não frangíveis.	Tempo e qualidade da resposta emergencial, áreas de difícil acesso, tratamento médico subsequente, congestionamento, presença de fogo resultante de colisão.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [3], [21]

4.4 Conceito de homeostase de risco

Existem duas políticas de Segurança Viária conflitantes no que diz respeito à prevenção de acidentes [22]. A primeira busca melhorar as condições de segurança, minimizando as consequências de atitudes arriscadas. Como exemplo, o cinto de segurança, *airbag*, entre outros. A segunda faz com que as consequências de atitudes arriscadas sejam mais severas, de modo que os indivíduos são induzidos a ter atitudes mais seguras. É o caso das lombadas, passagens estreitas etc.

No entanto, segundo a Teoria da Homeostase de Risco, nenhuma dessas medidas é capaz de reduzir os acidentes de trânsito, pois estes estão relacionados ao comportamento do motorista. Argumentos e experiências mostram como o comportamento do motorista, ou seja, o risco que ele está disposto a correr, adapta-se às situações e, como consequência, o número de acidentes no longo prazo se mantém [22].

Além de variações macroeconômicas⁴, há outros fatores que determinam o risco que cada motorista aceita correr: fatores culturais, sociais, psicológicos, entre outros. Em geral, pode-se dizer que o nível de risco que os motoristas estão dispostos a assumir depende de quatro fatores [22]:

- (i) Benefícios esperados de um comportamento de risco: redução do tempo de viagem ao acelerar, diminuição do tédio;
- (ii) Custos esperados de um comportamento de risco: multas de trânsito, reparos em automóveis;
- (iii) Benefícios esperados de um comportamento seguro: descontos em seguros para períodos sem acidentes, aumento da reputação de responsabilidade;
- (iv) Custos esperados de um comportamento seguro: uso de cinto de segurança desconfortável, perda de tempo.

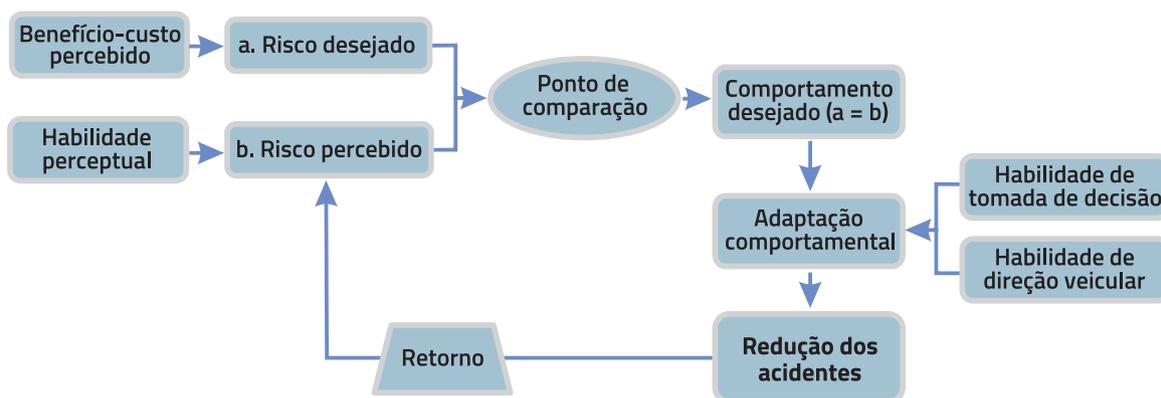
⁴ O nível de acidentes de trânsito apresenta grandes flutuações de acordo com os ciclos macroeconômicos [22]: quando há baixa na produção industrial e alta nos desempregos, o número de acidentes cai; do mesmo modo, nos períodos de prosperidade econômica, as pessoas estão mais dispostas a correr riscos nas rodovias. Isto porque o preço do petróleo e dos reparos dos carros tende a ser mais baixo, enquanto a necessidade de se deslocar rapidamente aumenta. O oposto ocorre em período de recessão econômica.

O risco que o motorista está disposto a correr é maior na medida em que os fatores (i) e (iv) são maiores e que os fatores (ii) e (iii) são menores [22].

Nível de risco zero corresponde a uma situação sem mobilidade, por isso, não é buscado pelos motoristas. Em vez disso, os motoristas buscam um nível de risco alvo, no qual o benefício líquido é máximo. Dessa forma, tendem a otimizar o risco, ou seja, o risco desejado pelo motorista é aquele que apresenta melhor benefício-custo [22].

A Teoria da Homeostase de Risco diz que, em cada momento, as pessoas comparam o risco percebido com o desejado e mudam o seu comportamento a fim de eliminar discrepâncias entre eles [22]. A Figura 4.3 apresenta o fluxograma do mecanismo homeostático.

Figura 4.3: Mecanismo homeostático



Fonte: adaptado de [2], [22]

O mecanismo da homeostase, apresentado na Figura 4.3, constitui uma causalidade circular. Ao mudar o grau de cautela repercutido no comportamento, há uma mudança no índice de acidentes, o que, por sua vez, provoca uma mudança de comportamento dos motoristas. Haverá flutuações no nível de acidentes no curto prazo, mas, em média, ao longo do tempo, os índices permanecem estáveis, a menos que o ponto de ajuste seja alterado.

Da mesma maneira, o nível de risco alvo é interpretado como a variável de controle na dinâmica de causalidade do índice de acidentes. Portanto, para reduzir esse índice, deve-se diminuir o nível de risco que as pessoas estão dispostas a correr. Nesse sentido, as demais variáveis provocam poucas flutuações no índice de acidentes [22].

O uso obrigatório de cinto de segurança reduz a probabilidade de que um acidente seja fatal, caso ele ocorra, mas não reduz o número de mortes per capita. Isso porque os motoristas, ao usarem cinto de segurança, têm atitudes mais agressivas no trânsito por se sentirem mais seguros [22].

Outro exemplo que ilustra bem a Teoria da Homeostase de Risco foi a mudança da direção da mão esquerda para direita, em 1967, na Suécia. Após essa medida, observou-se que o número de acidentes de trânsito no país diminuiu. Os motoristas, pouco acostumados a dirigir na nova mão, tinham atitudes mais responsáveis e seguras. No entanto, após um ano e meio, os índices voltaram aos valores anteriores: os motoristas já estavam habituados com o novo sistema e o nível de risco percebido caiu, o que fez com que retornassem às atitudes mais arriscadas [22].

Os sistemas de incentivo à operação sem acidentes têm se mostrado bem exitosos na redução de acidentes — como recompensas futuras e aumento da percepção dos benefícios com comportamento seguro. Há evidências de que indivíduos que possuem boas expectativas do futuro tendem a apresentar mais comportamentos seguros no trânsito. Nesse sentido, intervenções não tecnológicas que aumentem a saúde e a segurança das pessoas e o desejo da população por segurança reduzem acidentes [22].

4.5 Limitações da análise de fatores de risco e/ou fatores contribuintes

O estudo aprofundado dos fatores de risco e/ou fatores contribuintes para os acidentes auxilia na compreensão do problema de Segurança Viária e subsidia a escolha de contramedidas para solucioná-lo. Conhecer os principais fatores que atuam em cada localidade é fundamental para elaborar projetos seguros, assim como promover a operação adequada das rodovias. No entanto, há duas principais limitações no estudo de fatores de risco e/ou fatores contribuintes, as quais devem ser consideradas [2]:

- esses estudos não possuem um grupo de controle, ou seja, não há um estudo que engloba o trânsito em geral, considerando todos os usuários, as características da via, dos veículos e do comportamento dos usuários. Há

apenas estudos que analisam as características dos acidentes. Então, não há como afirmar que determinado erro humano ou falha da via ou do veículo está associado diretamente a acidentes e não está presente na mesma proporção nos demais eventos relacionados à mobilidade;

- não há distinção entre causas aleatórias e sistemáticas.

Nesse sentido, pode-se recair no erro de exageradas listas de explicações, sem determinar quais são os fatores mais significativos. Pode-se considerar uma grande parcela subjetiva de suposições e hipóteses sobre a ocorrência dos acidentes, e não necessariamente descrever o que de fato ocorreu [2]. A experiência prática e a coleta acurada de dados podem minimizar estes problemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto “Coca” *et al.* **Segurança Viária**. Ed: Suprema Gráfica e Editora. São Carlos, SP, Brasil, 2012
- [2] ELVIK, Rune *et al.* **The Handbook of Road Safety Measures**. 2ª edição. Reino Unido, 2009
- [3] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Highway Safety Manual**. 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2010
- [4] FILTNESS A.; PAPADIMITRIOU E. **Identification of Infrastructure Related Risk Factors**. Deliverable 5.1 of the H2020 project SafetyCube. Reino Unido, 2016
- [5] ESTADOS UNIDOS, Global Road Safety Facility; World Bank. **Guide for Road Safety Interventions: Evidence of What Works and What Does Not Work**. Washignton, DC., Estados Unidos, 2021
- [6] World Road Association (PIARC). **Road Safety Manual: A Guide for Practitioners!** França, 2019
- [7] Institute for Road Safety Research (SWOV). **Headway times and road safety**. The Hague, the Netherlands, 2012
- [8] HAUER, Ezra. **Speed and Safety**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Nº 2103, p. 10–17. Washington, D.C., Estados Unidos, 2009. doi: 10.3141/2103-02
- [9] SOLOMON, D. **Accidents on main rural highways related to speed, driver, and vehicle**. U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, Washington, D.C., Estados Unidos 1964
- [10] Organização Mundial da Saúde (OMS). **World Report on Road Traffic Injury Prevention**. Geneva, 2004
- [11] TAYLOR, M.C.; LYNAM, D.A. and BARUYA, A. **The effects of drivers’ speed on the frequency of road accidents**. Transport Research Laboratory (TRL), Road Safety Division, Department of the Environment, Transport and the Regions, Crowthorne, Inglaterra, 2000
- [12] Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE); International Transport Forum (ITF). **Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach**. 2008. doi: 10.1787/9789282101964-em
- [13] ELVIK, Rune. **A re-parameterisation of the Power Model of the relationship between the speed of traffic and the number of accidents and accident victims**. Accident Analysis & Prevention, vol. 50, p. 854–860, 2013. doi: 10.1016/j.aap.2012.07.012

- [14] BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Norma ABNT NBR 10697: Pesquisa de acidentes de trânsito** —Terminologia. Rio de Janeiro, Brasil, 09 nov. 2018
- [15] Alexander, G. J. and H. Lunenfeld. **Driver Expectancy in Highway Design and Traffic Operations**. Publication No. FHWA-TO-86-1. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC., 1986
- [16] HASAN, Tanweer. **Human Factors for Safe and Efficient Roadway Design and Operation**. Journal of Civil Engineering (IEB), vol. 32, nº 2, p. 163–172. Bangladesh, 2004
- [17] RUSSELL, Eugene R. **Using Concepts of Driver Expectancy, Positive Guidance and Consistency for Improved Operation and Safety**. Transportation Conference Proceedings, Manhattan, Estados Unidos, 1998
- [18] HOUTENBOS, M. *et al.* **Understanding Road Users' Expectations: an Essential Step for ADAS Development**. EJTIR, 5, nº 4, p. 253–266. The Netherlands, 2005
- [19] GOLD, Philip Anthony. **Segurança de Trânsito: Aplicações de Engenharia para Reduzir Acidentes**. Estados Unidos, 1998
- [20] Organização Mundial da Saúde (OMS); Comissões Regionais das Nações Unidas. **Global Plan: Decade of Action for Road Safety 2021–2030**. Geneva, Suíça, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>. Acesso em: 23 set. 2022
- [21] Organização Mundial da Saúde (OMS); Indian Institute of Technology Delhi. **Road Traffic Injury Prevention: Training Manual**. Índia, 2006
- [22] WILDE, Gerald J.S. **Risk Homeostasis Theory: an Overview**. Injury Prevention, vol. 4, nº 2, p. 89–91. Kingston, Ontário, Canadá, 1998. doi: 10.1136/ip.4.2.89



USO E TRATAMENTO DE DADOS DE ACIDENTES

Dados de acidentes de trânsito são fundamentais para a identificação de segmentos e de pontos críticos na rede rodoviária, com potencial para melhoria na segurança, e para a caracterização dos acidentes. São utilizados na etapa de análise do Gerenciamento da Segurança Viária, quando do uso de abordagem reativa, conforme abordado no “Capítulo 2 — Caráter multidisciplinar da Segurança Viária”. Deste modo, é essencial que as bases de dados sejam completas, precisas e atuais.

No Brasil, as principais bases de dados de acidentes são do SENATRAN (Secretaria Nacional de Trânsito), DATASUS (Banco de dados do Sistema Único de Saúde/Ministério da Saúde) e Seguro DPVAT (Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Vias Terrestres, ou por sua Carga, a Pessoas Transportadas ou Não). Já no estado de São Paulo, destaca-se a base de dados do INFOSIGA SP e do DER/SP.

Os acidentes de trânsito são registrados pela autoridade de trânsito responsável pela via, podendo ser agentes da polícia, agentes de trânsito ou socorristas. Muitas vezes, devido à falta de padronização na coleta de dados e à dificuldade de acompanhamento das vítimas hospitalizadas, os relatórios podem ser incompletos ou inconsistentes, comprometendo a qualidade das bases de dados. Outro ponto de atenção para o

tratamento e o uso de estatísticas de acidentes refere-se ao período de análise: considerar a frequência de acidentes em um curto período pode induzir a análises equivocadas em decorrência da variação natural dos índices de acidentes ao longo do tempo.

Após a identificação dos pontos e segmentos críticos a partir da análise dos dados de acidentes, é possível realizar o diagnóstico desses locais. O diagnóstico deve ser feito por meio da revisão dos dados de acidentes, da avaliação da documentação de apoio e da inspeção das condições de campo.

Neste capítulo são apresentadas as melhores práticas nacionais e internacionais para o uso e tratamento de dados de acidentes, considerando a sua aplicabilidade na malha rodoviária sob jurisdição do DER/SP. São descritas: (i) as bases de dados nacionais e as condições para a coleta de dados e para a identificação da qualidade das informações; (ii) a definição do período de análise; (iii) a identificação e caracterização de locais críticos; e (iv) o diagnóstico dos locais críticos.

5.1 Base de dados

Para o uso e tratamento de dados de acidentes é fundamental avaliar a qualidade e a aplicabilidade da base de dados de acidentes existente. Primeiramente, deve-se compreender o sistema de dados utilizado. Então, faz-se necessário escolher a fonte das estatísticas de acidentes. Por fim, deve-se avaliar a qualidade dos dados apresentados. Os tópicos a seguir descrevem esses assuntos com detalhes.

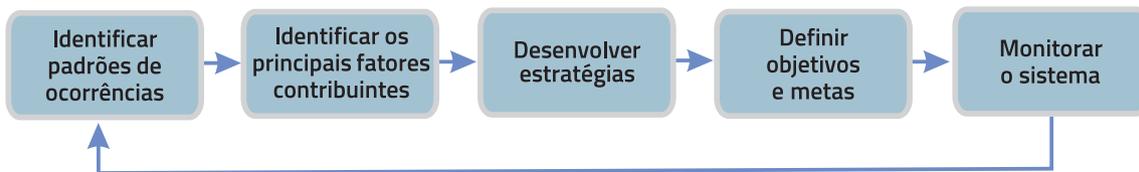
5.1.1 Sistema de dados

Dados de acidentes são essenciais para uma abordagem de segurança baseada em evidências, especialmente para programas de redução dos índices de acidentes com foco em resultados. São também importantes para conscientizar a população a respeito dos impactos econômicos e sociais causados pelos acidentes de trânsito, além de serem utilizados para justificar, econômica e politicamente, a implementação de programas de redução de acidentes [1].

Nesse sentido, busca-se identificar os tipos de acidentes e onde ocorrem, diagnosticar os fatores que contribuem para as ocorrências com maior severidade, selecionar contramedidas e, por fim, avaliar a efetividade dos projetos implantados. Um sistema de dados consolidado é fundamental para uma gestão eficaz da Segurança Viária [2].

Recomenda-se um processo em que os dados são coletados e utilizados para identificar os eventuais padrões de ocorrências e os principais fatores contribuintes, desenvolver estratégias, definir objetivos e metas e, por fim, monitorar o sistema [1], [2]. A Figura 5.1 apresenta a sequência de etapas em que os dados são utilizados no processo de Gerenciamento da Segurança Viária.

Figura 5.1: Utilização dos dados no processo de Gerenciamento da Segurança Viária



Fonte: elaborado pelo autor

Quando a base de dados é completa, organizada, precisa e abrangente, é possível [1], [3]:

- documentar a natureza e a magnitude dos acidentes de trânsito: determinar o local, tipo e severidade do acidente; identificar padrões nas ocorrências; identificar fatores contribuintes, fornecendo subsídios para a seleção de contramedidas;
- avaliar os custos associados aos acidentes, como custos socioeconômicos, os quais podem ser reduzidos por meio de medidas de prevenção eficazes;
- avaliar a efetividade das intervenções realizadas com o objetivo de prevenir acidentes e lesões.

Como os dados de acidentes são utilizados por diferentes instituições, com finalidades distintas, a forma como são coletados, organizados, analisados e interpretados

pode variar significativamente. Assim, é necessário que os dados estejam devidamente codificados, alimentados em um sistema informatizado de banco de dados e processados para que possam ser utilizados da maneira mais ampla possível [1]. O DER/SP possui uma base de dados de acidentes que é constantemente atualizada a partir de dados disponibilizados pela Polícia Militar Rodoviária (PMRv), como é explicado no item “5.1.2 — Coleta de dados”.

Para que as estatísticas de acidentes sejam passíveis de implantação nas bases de dados unificadas, é preciso seguir orientações específicas para a coleta de dados. Em 2012, a partir das informações específicas mínimas do Conjunto de Dados Comuns sobre Acidentes (CADA^S)¹, a Organização Mundial da Saúde selecionou variáveis úteis para análises nacionais, considerando as peculiaridades enfrentadas pelos países de renda baixa e média.

Em 2020, foi realizado no Brasil um diagnóstico envolvendo todos os estados e o Distrito Federal, com o objetivo de estabelecer uma metodologia padronizada de coleta e tratamento dos dados de acidentes de trânsito. Assim, foi criado o Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito (RENAEST)², uma base de dados de acidentes que consolida as informações coletadas por diferentes fontes, visando a subsidiar o desenvolvimento de estudos e pesquisas necessárias à melhoria da Segurança Viária no país.

No Quadro 5.1 são apresentados os dados de acidentes que devem ser coletados, segundo as recomendações do CADA^S e do RENAEST.

¹ O Conjunto de Dados Comuns sobre Acidentes (Common Accident Dataset — CADA^S) é um marco de referência unificada para a coleta de dados de acidentes de trânsito na Europa, tendo como base informações disponíveis de 25 países [1].

² O RENAEST foi regulamentado de acordo com a Resolução do CONTRAN nº 808 de 15 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/arquivos-denatran/docs/renaest>. Acesso em: 26 set. 2022.

Quadro 5.1: Dados mínimos de acidentes que devem ser coletados, segundo o CADA S e RENAEST

Informação	CADA S	RENAEST	
Relativa ao acidente	Identificação do acidente	X	
	Número específico atribuído ao acidente, usualmente pela polícia	X	
	Data e hora do acidente	X	X
	Município/local do acidente	X	X
	UF do acidente		X
	Quadra/trecho/referência		X
	Nº/km		X
	Tipo de acidente	X	X
	Tipo de impacto	X	
	Condições climáticas	X	X
	Condições de iluminação	X	X
	Gravidade do acidente	X	
	Data do óbito		X
	Relativa à via	Tipo de via	X
Classe funcional da via		X	X
Limite de velocidade		X	
Obstáculos na via		X	
Condições da pista		X	X
Entroncamento e controle de trânsito no entroncamento		X	X
Curva na via		X	X
Tipo de superfície do trecho da via		X	X
Acostamento			X
Canteiro central			X
Defensas ou barreiras			X

Informação	CADaS	RENAEST	
Relativa ao veículo	Número da placa do veículo	X	X
	Tipo do veículo	X	X
	Fabricante e modelo do veículo	X	
	Ano do veículo	X	
	Tamanho do motor	X	
	Veículo com função especial	X	
	Manobra do veículo	X	
	O que o veículo estava fazendo no momento do acidente	X	
Relativa à pessoa	Identidade da pessoa	X	X
	CPF do envolvido		X
	Número de ocupantes do veículo	X	
	Número da placa do outro veículo informado por pedestres	X	
	Data de nascimento	X	X
	Gênero	X	X
	Tipo de usuário da via	X	X
	Posição do assento	X	
	Gravidade das lesões	X	X
	Tipo de vítima		X
	Equipamento de segurança	X	X
	Manobra de pedestre	X	
	Suspeita de uso de bebida alcoólica	X	
	Teste de embriaguez	X	X
	Uso de droga	X	
	Data de emissão da carteira de motorista	X	

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [4]

Nota-se que tanto o CADA S quanto o RENAEST recomendam coletar informações relativas ao acidente, à via, ao veículo e à pessoa. É importante salientar que cada órgão sugere um conjunto de dados diferente, mas ambos consideram fatores associados à interação pessoa–via–veículo–meio ambiente para compreender as causas e caracterizar os acidentes. O RENAEST, por ser um registro nacional, solicita coletar dados mais específicos, como a informação do local do acidente e a identificação do CPF do envolvido. Por outro lado, o CADA S, desenvolvido pela Organização Mundial da Saúde, atém-se a informações mais gerais, como fatores humanos relativos ao uso de drogas e álcool, informações do veículo e condições da via.

Além dos dados coletados no local do acidente, podem também ser utilizadas para complementar a base de dados e, conseqüentemente, suas análises, as seguintes informações [3], [5], [6]:

- dados do serviço médico emergencial e hospitalar;
- dados do Instituto Médico Legal (IML);
- dados de seguradoras;
- histórico de aplicação de multas e de infrações de trânsito;
- dados de frota;
- dados de tráfego;
- dados de população;
- informações da rodovia, como condições de sinalização horizontal e vertical, características geométricas, referência de localização, dados do sistema de informações geográficas, padrões de viagens e exposição etc.;
- dados adicionais de Boletins de Ocorrência, como diagrama de colisão.

Essas informações secundárias podem ser relevantes para consolidar as informações das bases de dados com maior confiabilidade.

5.1.2 Coleta de dados

A integração bem-sucedida da Segurança Viária (planejamento, projeto, construção, operação e manutenção) demanda que dados completos, confiáveis e atuais estejam

disponíveis para a análise [5]. A coleta de dados de acidentes é um processo que requer a colaboração de diversos agentes que atuam na Segurança Viária. É importante que essa atividade seja feita de forma sistemática, clara e imparcial, a fim de fornecer dados precisos para a análise da acidentalidade de um determinado local.

No contexto rodoviário estadual, o DER/SP utiliza os dados de acidentes fornecidos pela Polícia Militar Rodoviária. Como resultado, são gerados relatórios semanais com indicadores de acidentes para identificar locais críticos e realizar o acompanhamento da acidentalidade na malha rodoviária. Em São Paulo, existe também o banco de dados do INFOSIGA SP, o qual unifica as estatísticas de acidentes de trânsito em todo o estado.

BOX 1**INFOSIGA SP**

O INFOSIGA SP³ é um banco de dados atualizado mensalmente com as estatísticas de acidentes no trânsito no território do estado de São Paulo, por meio de informações fornecidas pela Polícia Militar Rodoviária (PMRv) e pela Polícia Civil.

As informações são categorizadas em acidentes não fatais, acidentes fatais e óbitos. No banco de dados, para cada categoria, estão compiladas informações georreferenciadas referentes ao tipo do acidente, características da via, tipo de veículo, perfil da vítima e turno do acidente.

O INFOSIGA SP também contempla o InfoMapa⁴, uma ferramenta que apresenta todas as informações de acidentes disponíveis organizadas em um mapa, facilitando a localização dos pontos com maior concentração de ocorrências com vítimas, bem como a análise dos dados.

No Brasil, encontra-se em fase de implementação, pelo SENATRAN, o RENAEST. É possível, ainda, utilizar informações de fontes distintas. Como, do DATASUS, Seguro DPVAT e DATATRAN.

³ Disponível em: <http://www.infosiga.sp.gov.br/>. Acesso em: 29 nov. 2022.

⁴ Disponível em: <http://painelderesultados.infosiga.sp.gov.br/mapa/>. Acesso em: 29 nov. 2022.

BOX 2

BASES DE DADOS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO NO BRASIL



- **SENATRAN:** os dados de acidentes de trânsito são registrados por meio de Boletins de Ocorrência de Acidente de Trânsito (BAT) e são divulgados no RENAEST. Todas as informações são validadas a nível municipal, estadual e federal. O SENATRAN recomenda que cada Detran colete informações junto à Polícia Civil, Polícia Militar, Polícia Rodoviária Federal, Polícia Rodoviária Estadual, Corpo de Bombeiros, IML e Secretaria de Saúde. No RENAEST, um óbito é relacionado ao acidente de trânsito quando ocorrer no local do acidente ou em até trinta dias após o evento.
- **DATASUS:** por meio do Sistema de Informações de Mortalidade (SIM), fornece estatísticas a respeito dos óbitos registrados pelo Ministério da Saúde a cada ano. Esse sistema registra as mortes de pessoas atendidas em estabelecimentos voltados à saúde, incluindo vítimas de acidentes de trânsito.
- **Seguro DPVAT:** a Seguradora Líder, entidade atualmente gestora do DPVAT, fornece estatísticas referentes às indenizações pagas. Os dados não informam o número de óbitos ocorridos no ano, mas a evolução dos processos administrativos de indenização, sem relação com a evolução do número de ocorrências. Isso porque certos processos de indenização podem durar vários anos.
- **DATATRAN:** banco de dados com informações de acidentes coletados pela Polícia Rodoviária Federal.

A Norma ABNT NBR 12898 [7] apresenta o Relatório de Acidente de Trânsito (RAT) a ser empregado na coleta de dados estatísticos de acidentes rodoviários e urbanos, como registro público das suas circunstâncias, causas e consequências. O relatório está dividido em doze itens⁵, a serem preenchidos na ocasião do acidente.

A experiência aponta que é necessário avaliar com cautela os dados de registros de acidentes, já que o preenchimento ocorre normalmente no momento da ocorrência, quando muitas vezes é difícil que o agente policial ou de trânsito tenha condições plenas para avaliação correta da situação.

⁵ Os doze itens listados na Norma ABNT NBR 12898 são: dados gerais, condições do local, detalhes do veículo, condutor do veículo, passageiro vitimado, pedestre vitimado, localização do acidente, croqui, testemunhas, providências, relatório do policial e identificação do policial.

5.1.3 Qualidade dos dados

Para garantir a qualidade dos dados devem ser avaliados indicadores gerais, como: precisão, integridade, uniformidade, integração, disponibilidade e acessibilidade dos dados [5], [6]. A avaliação de um sistema de informações pode revelar a falta de qualidade dos dados, decorrente de deficiências durante a coleta e/ou o processamento dos dados. Para minimizar esse problema, podem ser adotadas as seguintes estratégias [1], [2]:

- revisão das definições iniciais, para que sejam simples e fáceis de entender e aplicar;
- reforço da importância da notificação, inclusive das ocorrências sem vítimas que não exigem a presença de autoridade de trânsito;
- melhoria das ferramentas de coleta de dados, com a padronização de formulários e relatórios de acidentes e a utilização de equipamentos eletrônicos (como *tablets* ou celulares) na coleta;
- coleta de informações exatas sobre o local do acidente utilizando sistemas de navegação e posicionamento global (GPS);
- melhoria do treinamento de agentes da polícia e de trânsito, apresentando orientações sobre o preenchimento de cada um dos itens do formulário e definindo termos, códigos e abreviações que devem ser utilizados;
- planejamento e revisão sistemática das medidas de garantia da qualidade e confiabilidade.

Conforme mencionado no item “5.1.2 — Coleta de dados”, o DER/SP utiliza os dados de acidentes coletados pela Polícia Militar Rodoviária (PMRv) para compor suas análises. O INFOSIGA SP recebe dados tanto da PMRv quanto da Polícia Civil para compor suas estatísticas. As informações fornecidas pela PMRv compreendem dados de acidentes registrados em Boletins de Ocorrência, enquanto dados da Polícia Civil trazem informações a respeito dos óbitos registrados, incluindo acompanhamento hospitalar de vítimas de acidentes de trânsito por até trinta dias.

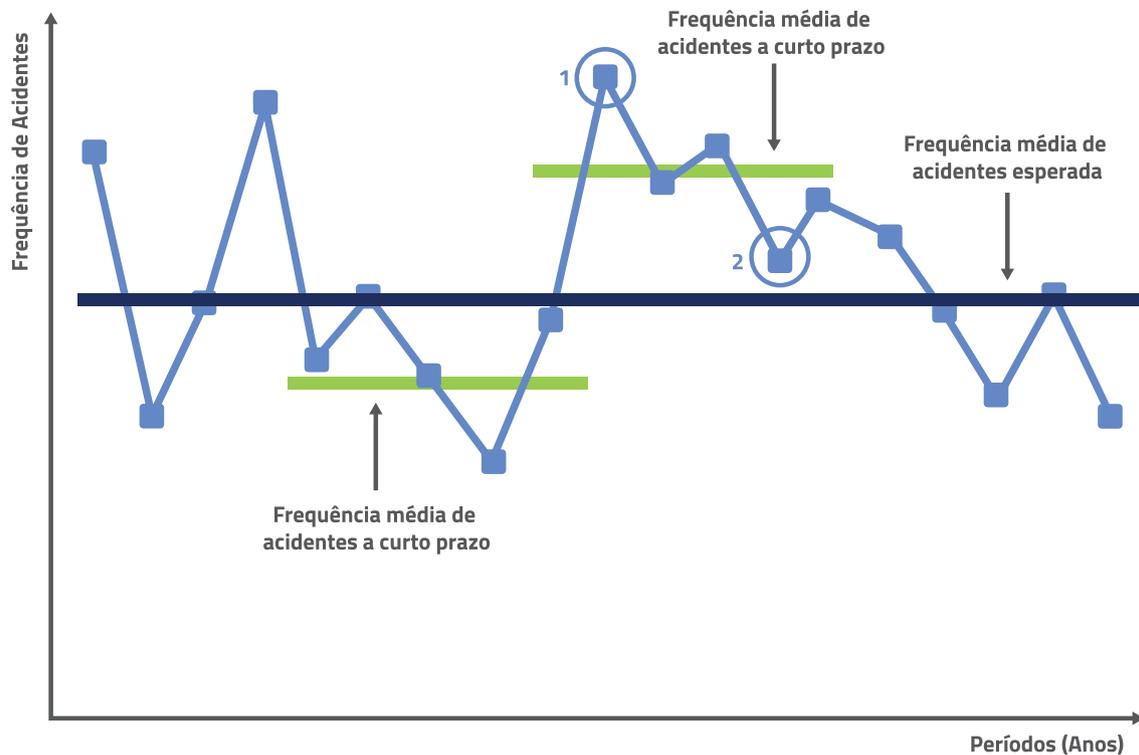
O cruzamento de dados hospitalares e de dados de ocorrências permite que os acidentes sejam verificados quanto à precisão, garantindo que as informações fornecidas em ambos os bancos de dados sejam complementadas. Além disso, essa comparação permite estimar a proporção de casos subnotificados nos arquivos da polícia e do

hospital [2]. Dessa forma, a qualidade e a precisão da base de dados das estatísticas de acidentes no estado de São Paulo, gerada pelo INFOSIGA, é assegurada.

5.2 Definição do período de análise

A frequência de acidentes flutua aleatoriamente ao longo do tempo, devido à sazonalidade do tráfego e à combinação de diferentes fatores de risco. Essa flutuação ocorre em torno de uma média esperada da frequência de acidentes, sendo possível verificar pontos e períodos com frequências de acidentes altas e baixas ao longo do tempo [5], conforme apresentado no Gráfico 5.1.

Gráfico 5.1: Variações de curto prazo na frequência de acidentes



Fonte: traduzido de [5]

É possível observar que, ao considerar uma frequência média de acidentes de curto prazo, esta pode ser significativamente mais baixa ou mais alta do que a média de longo prazo. Portanto, a flutuação das frequências de acidentes ao longo do tempo

dificulta a identificação das causas dessas mudanças observadas: se elas ocorreram em função de mudanças nas condições locais ou se são flutuações naturais.

Ao se desconsiderar as flutuações naturais na frequência de acidentes, pode-se cometer o equívoco de não considerar o viés (a tendência) da regressão para a média (RPM) e, assim, incorrer em erros no processo de seleção de locais críticos com potencial de melhoria. Isso torna a escolha do período de análise extremamente importante [5].

BOX 3**REGRESSÃO PARA A MÉDIA (RPM)**

Quando um período de alta frequência de acidentes é observado, é provável que uma frequência menor de acidentes seja observada no período seguinte. Essa tendência é conhecida como o fenômeno estatístico da regressão para a média (RPM). A RPM descreve, portanto, situações com índices de acidentes aleatoriamente altos durante um período, que são reduzidos sem nenhuma melhoria no local no período seguinte, ou em casos de índices de acidentes baixos que sofrem um aumento sem qualquer alteração no local ou nas condições de tráfego [5].

Ao se realizar a seleção de locais críticos, frequentemente são selecionados locais com o pior cenário recente de acidentes. Assim, o viés da RPM não é levado em consideração, podendo gerar uma seleção equivocada de locais de risco e de contramedidas [5], [8].

Tomando os dados de acidentes da Figura 5.2, por exemplo, ao considerar apenas o pico indicado em “1” para a seleção de locais críticos, este local seria identificado como um ponto com alta frequência de acidentes e, portanto, com potencial de tratamento para melhoria de segurança. Contudo, uma diminuição na frequência de acidentes no período seguinte, como indicado em “2”, pode ocorrer sem que uma contramedida específica tenha sido implementada, ou ainda, sem que a implantação de uma contramedida tenha, de fato, apresentado algum efeito.

Nesse caso, como a frequência média de acidentes esperada a longo prazo está abaixo do pico observado antes da intervenção, a efetividade calculada para o tratamento implementado poderia ser superestimada. Assim, há um risco na validação dos resultados alcançados a partir de uma simples comparação das condições de curto prazo antes e depois da melhoria ter sido implementada. Além disso, a intervenção poderia ter apresentado um melhor benefício-custo se aplicada em um local alternativo.

Recomenda-se a utilização de dados de acidentes relativos a um período de cinco anos consecutivos, o que geralmente fornece confiabilidade estatística à análise. O período mínimo recomendado, a fim de evitar erros decorrentes do viés da RPM, é de três anos. Períodos maiores, com séries históricas mais extensas, fornecem as tendências de longo prazo para o trecho [8].

Além disso, para a determinação do período de análise é necessário [2], [3]:

- considerar as alterações nas características geométricas e operacionais da via e mudanças nas atividades no entorno, que podem ter um impacto na ocorrência de acidentes;
- usar dados de acidentes para anos inteiros, evitando os efeitos das variações cíclicas ou sazonais na ocorrência de acidentes;
- verificar quaisquer mudanças na definição das bases de dados que podem introduzir descontinuidades dos dados.

Por fim, ao interpretar a variação na frequência de acidentes, é fundamental distinguir variação aleatória de variação sistemática. A variação sistemática é a variação “real” do número de acidentes, ou seja, é a variação do número de acidentes dentro do desvio padrão esperado. Já a variação aleatória representa a variação do número de ocorrências registradas em relação ao número esperado de acidentes, ou seja, representa um pico qualquer (maior ou menor) que foge da expectativa [9].

5.3 Identificação e caracterização de locais críticos de acidentes

Locais críticos podem ser definidos como segmentos ou pontos da rede viária com alta frequência de acidentes, alto índice de exposição aos acidentes, tendência constante de aumento na frequência acidentes, ou ainda, a partir de relatos da população [10].

A primeira etapa do processo de Gerenciamento da Segurança Viária consiste na identificação dos locais críticos, a qual pode ser realizada a partir da análise de dados

de acidentes (abordagem reativa) ou a partir da análise de fatores de risco (abordagem proativa). Para isso, podem ser utilizados os seguintes métodos [11]:

- a) Numérico: identifica locais com frequência de acidentes acima da média por meio do cálculo de indicadores (como número e severidade de acidentes, número de vítimas, número de vítimas por acidente, índice de acidentes ou índice de severidade, conforme apresentado no “Capítulo 3 — Acidentalidade”), que são comparados a valores esperados pré-estabelecidos. Esse método é adequado à realidade brasileira, sendo atualmente utilizado nas análises das rodovias paulistas devido a sua praticidade, por meio do cálculo da Unidade Padrão de Severidade (UPS), o qual será descrito na sequência.
- b) Estatístico: identifica locais com risco de acidente superior ao estimado ou esperado por meio de modelos matemáticos probabilísticos⁶. Esses métodos fornecem resultados mais confiáveis do que os métodos numéricos.
- c) Técnicas de conflitos⁷: identifica o risco da ocorrência de acidentes ao considerar que há uma correlação entre o número de acidentes e os conflitos de tráfego e, portanto, a redução de conflitos causa uma redução de acidentes. Pode ser utilizada para identificar locais com potencial para melhoria de segurança, em que nenhum acidente foi registrado, e como diagnóstico auxiliar para tratamento de locais críticos em que ocorreram acidentes.
- d) Auditoria de Segurança Viária⁷: identifica locais com potencial para melhoria de segurança, baseando-se na ação preventiva de verificação de fatores de risco. Pode ser realizada nas etapas de estudo de viabilidade, projetos básico e executivo, na pré-abertura ao tráfego, ou ainda, em vias existentes.

A análise de locais críticos envolve uma consideração geográfica, no âmbito regional, municipal ou pontual. Os locais de acidentes considerados para a análise podem ser diversos: um segmento rodoviário homogêneo, um local específico (como uma interseção ou curva na rodovia), malhas viárias inteiras e até mesmo um

⁶ Um modelo matemático probabilístico que pode ser utilizado para a identificação de locais críticos é o método preditivo do HSM, abordado no “Capítulo 15 — Modelo de previsão de acidentes”.

⁷ As metodologias para a determinação de locais com potencial para melhorias de segurança que se baseiam em abordagens proativas, como técnicas de conflitos e Auditorias de Segurança Viária, são abordadas com mais detalhes no “Capítulo 12 — Abordagens proativas”.

grupo de locais ao longo da rede viária que apresentam características semelhantes [2], [3].

Segmentos homogêneos de rodovias são trechos que possuem um conjunto de características físicas e operacionais semelhantes, como número de faixas por sentido, densidade de acessos (acesso a lotes e espaçamento entre interseções), volumes de tráfego (volume total, volume na hora pico, volume diário médio), tipo e largura do separador central, velocidade de operação ou velocidade regulamentada, uso do solo adjacente, tipo de terreno, classificação funcional, entre outras [8], [12].

Conforme apresentado no “Capítulo 3 — Acidentalidade”, nas rodovias sob jurisdição do DER/SP, os locais críticos são identificados mediante a aplicação do método numérico UPS, o qual calcula o valor da Unidade Padrão de Severidade (UPS) dos acidentes. O cálculo da UPS faz uma ponderação dos tipos de acidentes para classificar trechos críticos, considerando a severidade de cada ocorrência. Os trechos são classificados em ordem decrescente e aqueles com maior valor de UPS são considerados críticos e devem ser prioritários nos estudos de segurança. A análise é inicialmente feita por segmentos homogêneos e posteriormente para cada quilômetro.

Métodos numéricos podem ser utilizados para classificar (ranquear) os trechos analisados por nível de criticidade, a partir das ocorrências de acidentes. Além disso, permitem a comparação dos resultados de cada trecho com diferentes regiões e países. Contudo, ao comparar os resultados obtidos na aplicação de métodos numéricos, é necessário levar em consideração a possível heterogeneidade nas frequências e índices de acidentes, causada pela aleatoriedade no comportamento dos usuários, como também os efeitos das características das vias, condições meteorológicas e composição do tráfego.

5.4 Diagnóstico dos locais críticos

A segunda etapa do processo de Gerenciamento da Segurança Viária consiste no diagnóstico dos locais críticos identificados na etapa de análise. Como resultado desta etapa, espera-se um aprofundamento da análise realizada na determinação dos locais

críticos, sucedendo na identificação das principais causas e padrões de acidentes, em abordagens reativas, e na identificação dos principais fatores de risco, em abordagens proativas⁸, além de potenciais preocupações de segurança, as quais poderão ser avaliadas posteriormente [8].

Em abordagens reativas, a atividade de diagnóstico inclui o entendimento do padrão e da severidade dos acidentes, a análise das condições de campo e de estudos prévios e a avaliação das características físicas dos locais selecionados mediante inspeção de campo.

Para a realização da etapa de diagnóstico a partir de dados de acidentes, há três passos que devem ser seguidos: (i) revisão dos dados de acidentes; (ii) avaliação da documentação de apoio; e (iii) avaliação das condições de campo [8], [13]. Essas etapas são detalhadas a seguir.

5.4.1 *Revisão dos dados*

Para cada local crítico identificado na etapa de análise, descrita no item 5.3, investiga-se as características dos acidentes para determinar padrões nas ocorrências. Os padrões e semelhanças fornecem subsídios para diagnosticar os problemas no local e auxiliar no desenvolvimento de um plano de tratamento dos problemas identificados [14].

A revisão dos dados de acidentes busca identificar os padrões relativos ao horário, condições climáticas, tipologia e severidade dos acidentes, direção prioritária dos acidentes e comportamento dos motoristas. É recomendado compilar e revisar um período de três a cinco anos de dados de acidentes, para assim ter maior confiabilidade no diagnóstico [8].

A etapa do diagnóstico dos locais críticos é realizada por meio de uma análise das estatísticas descritivas dos acidentes, podendo ser complementada pela descrição dos

⁸ Assim como na identificação de locais com potencial de melhoria de segurança, a etapa de diagnóstico utilizando abordagens proativas é discutida com mais detalhes no “Capítulo 12 — Abordagens proativas”.

locais críticos, mediante o emprego de mapas e tabelas que facilitam a identificação de padrões nas ocorrências.

5.4.2 *Estatísticas descritivas de acidentes*

Nesta etapa, os dados coletados (conforme descrito no item “5.1.2 — Coleta de dados”), são revisados e resumidos a fim de identificar padrões e tendências. As informações obtidas com o processamento das bases de dados são importantes para diagnosticar os problemas mais comuns em diversas localidades, podendo ser organizadas em um relatório resumido ou representadas por gráficos ou tabelas. Essas representações são úteis para facilitar a visualização de padrões de acidentes [14].

Estatísticas descritivas de acidentes incluem dados referentes a: identificação do acidente (data, período do dia, dia da semana), tipo de acidente (colisão traseira, colisão lateral, choque, atropelamento etc.), severidade do acidente (com vítima fatal, com vítima de natureza grave, com vítima com ferimentos leve, com danos materiais somente) e outros fatores relacionados à via e ao entorno (como condições do pavimento, clima, iluminação etc.), ao veículo e aos usuários (como uso de álcool ou drogas, cansaço etc.) [8], conforme listado no Quadro 5.1.

Caso não sejam facilmente identificados padrões de acidentes ao rever as estatísticas descritivas, procedimentos matemáticos podem ser realizados como ferramenta de diagnóstico. É possível utilizar, por exemplo, a medida de desempenho chamada “Probabilidade de Tipos Específicos de Acidentes que Excedem a Proporção Limite”⁹. Uma descrição detalhada dessa medida pode ser encontrada no capítulo 4 do *Highway Safety Manual* (HSM), juntamente com exemplos de problemas que demonstram seu uso. A aplicação dessa medida de desempenho é adequada para avaliar se determinado tipo de acidente ocorre com mais frequência em uma dada localidade, em comparação com a frequência observada do mesmo tipo de acidente em outros locais. Nesse método, os tipos de acidentes cujas frequências excedem um valor limite devem ser estudados com mais detalhes a fim de identificar possíveis contramedidas [8].

⁹ Tradução livre de “Probability of Specific Crash Types Exceeding Threshold Proportion”.

5.4.1.2 *Descrição dos locais de acidentes*

Ao descrever os locais dos acidentes, preferencialmente são apresentados dados em um formato padrão para que uma grande quantidade de informação possa ser avaliada rapidamente. Esses relatórios podem ser produzidos preenchendo formulários, ou podem ser gerados automaticamente por softwares de sistema de dados [14].

As principais ferramentas utilizadas para descrever os locais de acidentes são: diagrama de acidente, diagrama de condição, mapa de acidentes, análise em tabela e tabulação cruzada. Cada uma das ferramentas visuais é utilizada para identificar padrões relacionados aos locais dos acidentes, os quais não seriam identificados de outra maneira [8]. Trata-se de ferramentas complementares para analisar a dinâmica dos acidentes e são utilizadas em conjunto para diagnosticar causas diretas e indiretas e os respectivos locais das ocorrências.

a) Diagrama de acidente

Diagrama de acidente é uma representação gráfica dos acidentes que ocorreram em determinada localidade por um certo período. É mais utilizado para interseções ou locais com alta concentração de acidentes. O diagrama fornece uma compreensão mais ampla do número de acidentes e fatores contribuintes comuns nos locais analisados, sem a necessidade de textos ou tabelas extensas [2].

Recomenda-se que os diagramas de acidentes sejam realizados para um período de, pelo menos, três anos e contenham todos os acidentes rodoviários disponíveis nas estatísticas. Em geral, quanto maior o período considerado, mais clara será a identificação dos padrões de tipo de acidente e dos seus fatores contribuintes [2].

Ressalta-se que os diagramas são normalmente destinados a acidentes fatais e graves, ou seja, não costumam ser incluídos nesse tipo de análise os acidentes com danos materiais somente. Assim, os diagramas nem sempre permitem uma avaliação estatística confiável das tendências de acidentes. Seu maior objetivo é identificar causas diretas e indiretas das ocorrências, simplificando a visualização dos acidentes para identificar padrões por tipo de acidente [8].

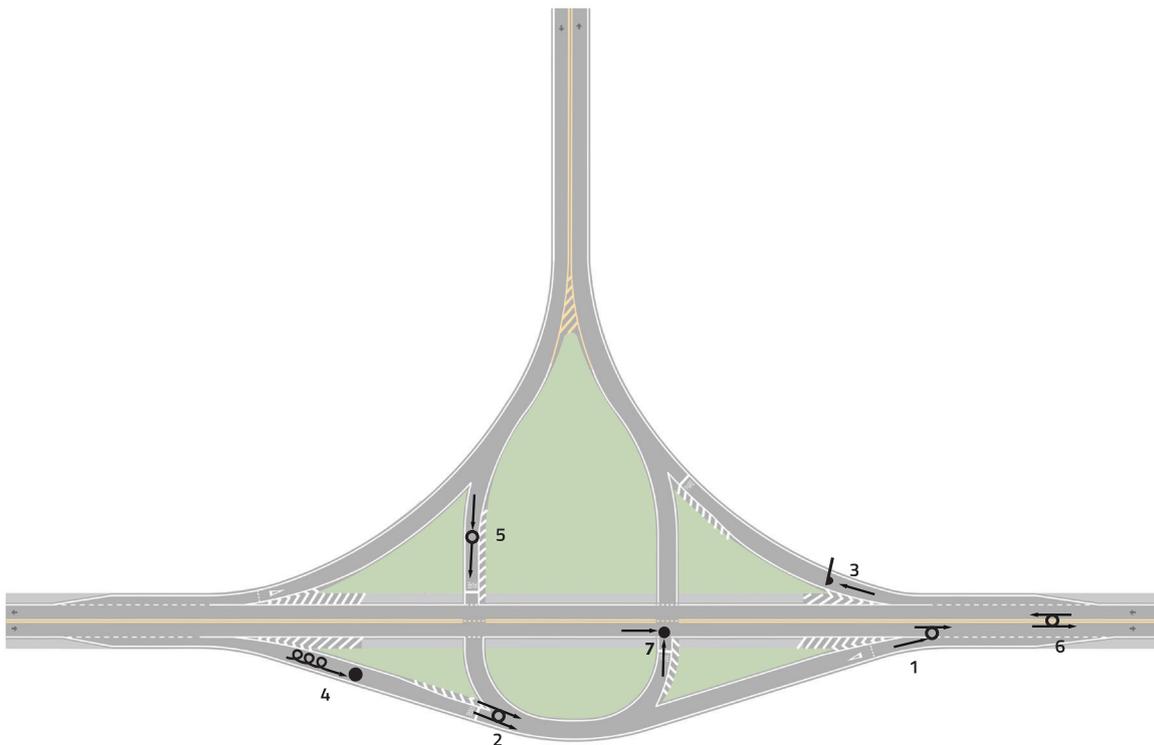
Em geral, os diagramas devem conter todas as informações relevantes do local, especialmente as mais importantes relativas aos movimentos dos usuários. É possível indicar, também, informações de severidade, data e horário da ocorrência e condições

ambientais. É fundamental obter dados da descrição dos Boletins de Ocorrência, tais como, velocidade permitida, tipo de pavimento, traçado, veículos envolvidos, tipos de colisão, entre outros [8], [14]. Os diagramas de acidentes devem ser apresentados em escalas que permitam uma boa visualização dessas informações.

Na representação dos diagramas, é necessário garantir precisão adequada na localização dos acidentes, que pode ser alcançada preferencialmente por meio do georreferenciamento. Com o desenvolvimento tecnológico, é esperado que, no futuro, muitas das informações contidas nos diagramas de acidentes possam ser automatizadas.

A Figura 5.2 representa um diagrama de acidente em uma rotatória.

Figura 5.2: Exemplo de diagrama de acidente



Fonte: elaborado pelo autor

No Brasil, os símbolos utilizados para indicar os acidentes são determinados de acordo com o tipo de conflito, estabelecidos pela NBR 10696 [15], conforme apresentado no Anexo A. A Tabela 5.1 apresenta a descrição detalhada das ocorrências identificadas no exemplo de diagrama de acidente representado na Figura 5.2.

Tabela 5.1: Identificação das ocorrências ilustradas no exemplo de diagrama de acidente

DADOS BÁSICOS DE ACIDENTES OBTIDOS DOS BOLETINS DE OCORRÊNCIA													
Nº	Data	Dia da semana	Horário	LOCAL: TRECHO – KM:		Tipo de Acidente	Tipo de veículo*	Pedestre/ ciclista	ANO:			Nº feridos	Nº mortos
				bom	nublado				chuvoso	danos materiais	c/ vítima		
1	25/03/2021	quinta	13:30	x		colisão transversal	AxA	N	S	N	N	0	0
2	27/03/2021	sábado	11:00	x		colisão lateral	CxA	N	S	N	N	0	0
3	31/05/2021	segunda	22:30		x	atropelamento	A	pedestre	N	N	S	0	1
4	09/07/2021	segunda	17:20		x	capotamento	A	N	N	N	S	2	1
5	27/07/2021	terça	09:00		x	colisão traseira	AxA	N	S	N	N	0	0
6	29/09/2021	quarta	13:10	x		colisão lateral	CxA	N	S	N	N	0	0
7	17/09/2021	sexta	15:40		x	colisão transversal	AxM	N	N	N	S	0	1
Total de Vítimas											2	3	

(*) A – automóvel; C – caminhão; M – motocicleta.

Fonte: elaborado pelo autor

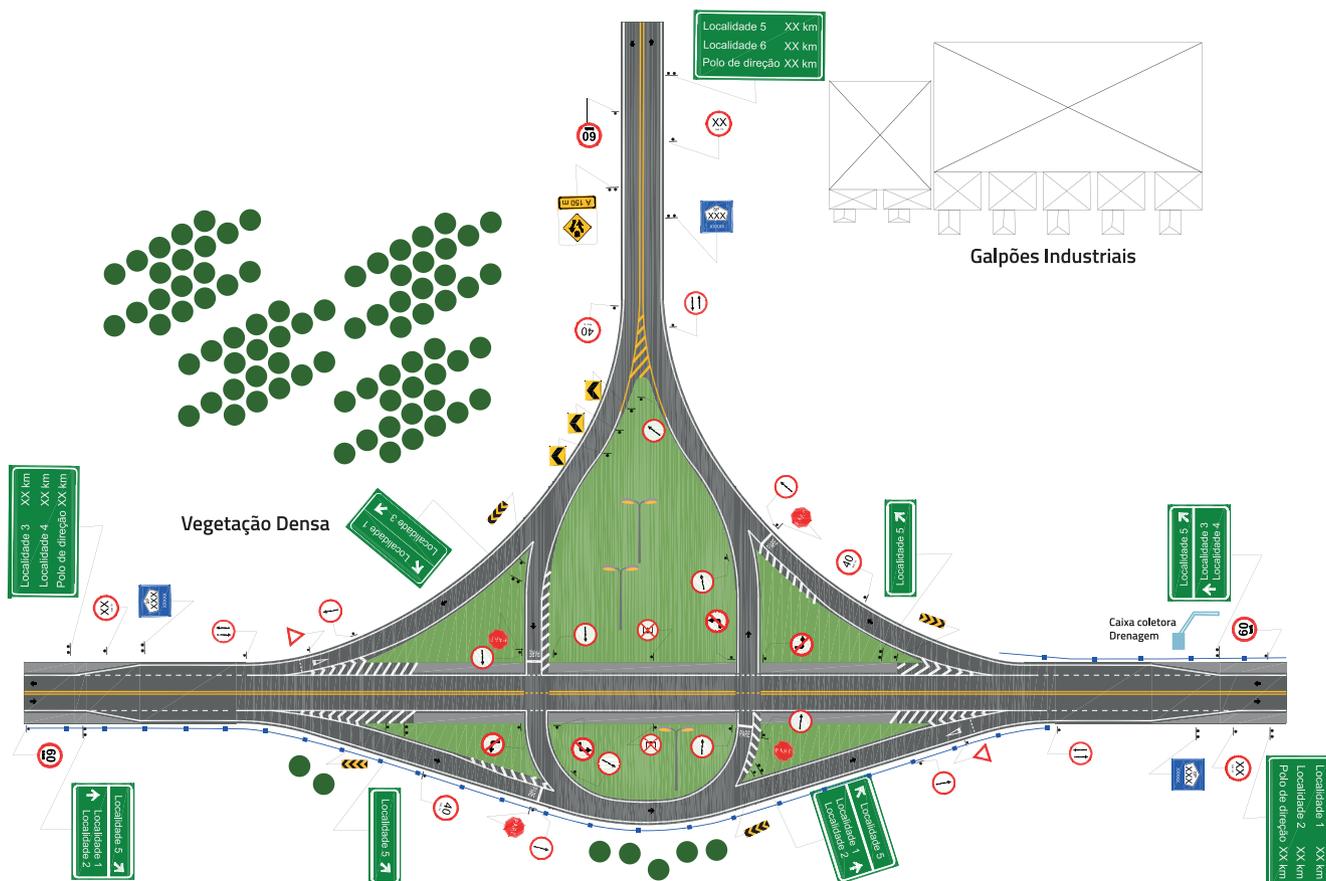
Se durante a investigação das ocorrências forem identificadas mudanças no local, como na geometria ou na organização do tráfego, deve-se, também, indicá-las no diagrama, podendo ser elaborados dois desenhos ou um único desenho contemplando as alterações. Os diagramas de acidentes podem ser utilizados também para avaliar a efetividade de uma contramedida, estabelecendo comparações antes *versus* depois.

b) Diagrama de condição

Diagrama de condição é destinado a descrever as principais características físicas de um local, tais como [8]:

- configurações de faixa e controle de tráfego;
- movimentos permitidos;
- presença de pedestres e ciclistas;
- condições do tráfego nas proximidades do local;
- presença de canteiros centrais;
- configurações do terreno e paisagismo;
- acostamento ou tipo de meio-fio e sarjeta;
- dispositivos de drenagem;
- presença de árvores;
- locais de serviços públicos (hidrantes, postes de luz, postes de telefone).

Um exemplo de diagrama de condição, complementar ao diagrama de acidente em uma rotatória da Figura 5.2, é representado na Figura 5.3.

Figura 5.3: Exemplo de diagrama de condição

Fonte: elaborado pelo autor

A intenção do diagrama de condição é desenvolver uma visão geral, a ser relacionada com os padrões identificados no diagrama de acidente [8]. O ideal é que os dois diagramas sejam feitos na mesma escala, para que possam ser sobrepostos e analisados em conjunto, relacionando a ocorrência de acidentes às características físicas locais. É possível, ainda, representar os elementos de condição e de acidente no mesmo diagrama.

c) Mapa de acidentes

Ao digitalizar a base de dados de acidentes, é possível georreferenciar as informações com o uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para isso, é imprescindível que

os registros de acidentes tenham informações espaciais, seja a localização por endereço, seja por coordenadas geográficas, com a maior precisão possível. Diversas análises podem ser feitas utilizando ferramentas de geoprocessamento, como:

- associação de relatórios policiais digitalizados e registros de vídeo ou foto ao banco de dados SIG, para cada local de acidente, visando a tornar os dados originais e as informações básicas prontamente disponíveis para o analista;
- consulta a bancos de dados para identificar conjuntos de acidentes com características comuns, localizados a uma determinada distância de pontos específicos ou de outros acidentes. Isso pode levar a avaliações dos acidentes ocorridos em diferentes regiões e análises da relação dos acidentes com os usos do solo;
- avaliação de frequência ou densidade de acidentes ao longo de um segmento para fornecer indicações de padrões de acidentes em uma área determinada;
- aplicação de filtros por tipo de acidente, por localidade, por características dos locais etc. Assim, pode-se estabelecer relações entre as localidades ou avaliar individualmente cada uma delas;
- verificações de controle de qualidade dos dados realizadas e, se necessário, correções diretamente no banco de dados;
- realização de análises integrando dados de acidentes (localização, hora do dia, dia da semana, idade dos envolvidos, sobriedade) com outras informações do local (presença de escolas, sinalização de limite de velocidade, cruzamentos rodoferroviários etc.).

O sistema do INFOSIGA SP, ao lançar os dados, fornece estatísticas de acidentes de acordo com os filtros selecionados. Essas estatísticas geram um mapa de calor ou de concentração de acidentes com óbitos e/ou vítimas. Para tanto, os dados devem ser georreferenciados, permitindo a representação de todos os acidentes e a avaliação da concentração de acidentes nos locais informados. A Figura 5.4 representa um mapa de calor de óbitos e vítimas no estado de São Paulo, retirados do InfoMapa. Para

A tabela deve ser preenchida com as informações de cada ocorrência em uma linha. Dessa forma, é possível realizar a análise da tabela com os acidentes sintetizados.

e) Tabulação Cruzada

Tabulação cruzada é uma forma de sintetizar informações dos acidentes, relacionando dois atributos ao mesmo tempo em uma tabela. Os atributos referem-se às características do acidente, como tipo de acidente, severidade, hora do acidente, condição da superfície da via no momento do acidente etc. O diferencial desse tipo de análise é que a amostra das estatísticas de acidentes pode ser agrupada conforme as características (atributos).

É construída uma matriz em que a coluna corresponde a um atributo e a linha corresponde a outro atributo. O resultado da matriz é o número de ocorrências listadas na base de dados para a combinação dos atributos de cada célula. A seleção dos atributos a serem analisados fica a critério do investigador.

Assim, é possível visualizar a relação entre dois atributos nos registros de acidentes da base de dados estudada e, também, como o número de ocorrências muda conforme a combinação de diferentes características do acidente.

A Tabela 5.3 representa um exemplo de tabulação cruzada que pode ser realizada para analisar dados de acidentes, comparando-se a severidade do acidente com o tipo de vítima.

Tabela 5.3: Exemplo de tabulação cruzada

Severidade	Tipo de vítima			Total
	Motorista	Passageiro	Pedestre	
Fatal		1	15	16
Ferimentos graves			4	4
Ferimentos leves	1		7	8
Total	1	1	26	28

Fonte: adaptado de [14]

A tabulação cruzada é útil na identificação de padrões por localidade, evidenciando características não óbvias, e pode ser utilizada para complementar as informações presentes em relatórios tradicionais de acidentes. Se uma tabulação cruzada identifica um padrão para a ocorrência de acidente, pode ser sugerida uma continuidade na avaliação, realizando-se outra tabulação com novas combinações de atributos [14].

5.4.2 Avaliação de documentação de apoio

A etapa de avaliação de documentação de apoio deve ser realizada após a revisão dos dados de acidentes, a fim de fornecer uma perspectiva adicional à análise desses dados. Tem como objetivo revisar informações disponíveis a respeito das localidades que estão sendo diagnosticadas. Para isso, são avaliados documentos e testemunhos pessoais de profissionais de transportes, possibilitando a identificação de novas questões de Segurança Viária, ou a confirmação do que já havia sido identificado [8].

Os padrões de acidentes identificados, por vezes, podem ser explicados a partir das mudanças operacionais e geométricas das vias. Uma revisão dos dados de acidentes pode revelar, por exemplo, que uma variação na frequência de acidentes em um trecho da via pode ser justificada por alterações realizadas em sua geometria.

As informações que podem ser consideradas como documentação de apoio são [8]:

- volumes de tráfego (para todos os modos);
- documentação de *as-built*;
- padrões de projetos empregados no trecho;
- inventário das condições de campo (sinalização de trânsito, dispositivos de controle de tráfego, número de faixas de rolamento, velocidade regulamentada etc.);
- fotos ou registros de vídeo;
- registros de manutenção;
- estudos operacionais ou de transportes, realizados nas proximidades do local;

- mapeamento do uso do solo e características de controle de acesso à rodovia;
- padrões históricos de clima adverso (chuva, neblina, granizo);
- planos urbanísticos para o entorno da área;
- registros de reclamações e comentários de usuários e da população do entorno;
- planos de melhorias nas rodovias do entorno;
- alterações nas legislações ou normas de circulação.

5.4.3 *Inspeção das condições de campo*

O diagnóstico pode ser complementado por uma inspeção de campo, para validar as hipóteses das etapas anteriores. Nesta fase são coletadas informações que fornecem conhecimento sobre os padrões de viagens motorizadas e não motorizadas do local inspecionado, além de informações sobre características da via, condições de tráfego, comportamento dos usuários, entre outras.

Para a execução da inspeção de campo é necessário realizar um bom planejamento, incluindo a seleção e coordenação da equipe para otimizar o tempo de campo, minimizando a exposição [8]. Os objetivos da inspeção das condições de campo são [10], [17]:

- confirmar ou reavaliar as possíveis causas de acidentes e os fatores contribuintes levantados nas etapas anteriores;
- verificar a existência de possíveis interferências entre modos de transporte;
- verificar interferências no tráfego;
- identificar comportamentos padrão que possam estar influenciando a ocorrência de acidentes;
- efetuar eventuais contagens expeditas de tráfego;
- coletar informações referentes às características socioeconômicas e ambientais da região;
- identificar inadequações de engenharia de Segurança Viária;
- coletar informações dos residentes quanto aos tipos de acidentes mais comuns.

Deve-se elaborar uma lista de avaliação para guiar o trabalho, adaptada à inspeção a ser realizada, e fazer com que nada seja esquecido. Essas *checklists* podem ser adquiridas em diversas fontes, como manuais, textos acadêmicos e recomendações técnicas [8]. É recomendada que a inspeção de campo também seja conduzida por profissionais especialistas para obter relatórios formais e fluxos de correção dos problemas identificados.

Uma inspeção das condições de campo tem diferenças em relação a uma Auditoria de Segurança Viária. Uma auditoria é um exame formal que poderia ser conduzido em uma instalação existente ou futura, e é concluída por uma equipe independente e interdisciplinar de auditores especialistas [8]. Mais detalhes sobre Auditorias de Segurança Viária são apresentados no “Capítulo 12 — Abordagens proativas”.

Em toda inspeção de campo, é fundamental garantir a segurança dos profissionais, os quais devem ter consciência de que estão em um local de alto risco para ocorrência de acidentes. Portanto, todas as precauções e cuidados devem ser tomados, de modo a garantir que a inspeção seja realizada somente em condições seguras. Para isso, os profissionais devem utilizar EPIs e as visitas ao local devem ser planejadas cuidadosamente, com autorização do órgão responsável pela via e com uma avaliação de risco completa, considerando as precauções necessárias em cada local [18]. A equipe deve interromper a inspeção e deixar o local caso riscos não previstos no planejamento sejam identificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Organização Mundial da Saúde (OMS). **Sistema de dados: Um Manual de Segurança Viária para Gestores e Profissionais da Área**. Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2012
- [2] World Road Association (PIARC). **Road Safety Manual: A Guide for Practitioners!**. França, 2019
- [3] AUSTRÁLIA, Austroads. **Guide to Road Safety Part 2: Safe Roads**. Sydney, Austrália, 2021. Disponível em: <https://austroads.com.au/publications/road-safety/agrs02>. Acesso em: 31 out. 2022
- [4] BRASIL, Governo Federal do Brasil. Ministério da Infraestrutura. **Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito**. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/arquivos-denatran/docs/renaest>. Acesso em: 12 nov. 2020
- [5] HERBEL, Susan; LAING, Lorrie; MCGOVERN, Colleen. **Highway Safety Improvement Program (HSIP) Manual**. Federal Highway Administration, Department of Transportation. Cambridge, MA, Estados Unidos, 2010
- [6] ESTADOS UNIDOS, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). **Model Performance Measures for State Traffic Records Systems**. Estados Unidos, 2011
- [7] BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Norma ABNT NBR 12898: Relatório de acidente de trânsito (RAT)**. Brasil, 1993
- [8] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Highway Safety Manual**. 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2010
- [9] ELVIK, Rune *et al.* **The Handbook of Road Safety Measures**. 2ª edição. Reino Unido, 2009
- [10] GOLD, Philip Anthony. **Segurança de Trânsito: Aplicações de Engenharia para Reduzir Acidentes**. Estados Unidos, 1998
- [11] BRASIL, Ministério dos Transportes. Programa PARE. Universidade de Brasília (UnB). **Procedimentos para Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito**. Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2002
- [12] ESTADOS UNIDOS, Transportation Research Board. **Highway Capacity Manual**. Washington, D.C., Estados Unidos, 2000
- [13] PERU, Ministerio de Transportes y Comunicación. **Manual de Seguridad Vial**. Lima, Peru, 2017

- [14] ÁFRICA, African Development Bank; Transport and ICT Department (OITC). **Road Safety Manuals for Africa: Existing Roads: Reactive Approaches**. Tunísia-Belvedere, África, 2014
- [15] BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Norma ABNT NBR 10696: Símbolos gráficos dos diagramas de acidentes dos relatórios de acidentes de trânsito**. Rio de Janeiro, Brasil, 18 set. 2015
- [16] SÃO PAULO, Governo do Estado de São Paulo, INFOSIGA SP. **INFOMAPA**. Disponível em: <http://painelderresultados.infosiga.sp.gov.br/mapa/>. Acesso em: 17 out. 2022
- [17] BRASIL, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **Manual de Análise, Diagnóstico, Proposição de Melhorias e Avaliações Econômicas dos Segmentos Críticos**. Rio de Janeiro, Brasil, 1998
- [18] ÁFRICA, African Development Bank; Transport and ICT Department (OITC). **Road Safety Manuals for Africa: Existing Roads: Proactive Approaches**. Tunísia-Belvedere, África, 2014



DIRETRIZES PARA PROJETO SEGURO DE RODOVIAS

Na elaboração de projetos de rodovias, uma abordagem que incorpora elementos de Segurança Viária tem potencial para evitar o risco de ocorrência de acidentes ou reduzir as consequências, caso eles ocorram. O Sistema Seguro, conforme introduzido no “Capítulo 1 — Panorama da Segurança Viária”, reflete uma visão holística dos fatores envolvidos na ocorrência de acidentes viários e é constituído em torno da premissa de que falhas humanas são inevitáveis e que, portanto, os projetos viários devem ser capazes de perdoá-las.

Em oposição à abordagem clássica, que atribui ao usuário a maior parte da responsabilidade pela ocorrência de acidentes, a abordagem do Sistema Seguro reconhece que não se deve responsabilizar, unicamente, o usuário da via por um acidente, uma vez que há soluções de infraestrutura que podem ser adotadas para reduzir os riscos. Portanto, a responsabilidade pela segurança das vias deve ser compartilhada. Assim, o Sistema Seguro propõe que os veículos e as rodovias sejam projetados de forma compatível com as características humanas, de modo que o sistema minimize as falhas humanas e amenize suas consequências.

A mudança fundamental da responsabilidade pelos acidentes — tirando o foco do usuário e promovendo uma abordagem que estimula que os projetistas e demais responsáveis pela construção, operação e manutenção da via ofereçam um ambiente de tráfego intrinsecamente seguro — é reconhecida como a chave para alcançar resultados ambiciosos na Segurança Viária [1].

BOX 1

RODOVIAS QUE PERDOAM



Rodovias que perdoam (*forgiving highways*, em inglês) é um conceito que foi utilizado como base para o desenvolvimento da abordagem de Sistema Seguro. Esse conceito surgiu com o objetivo de desenvolver uma infraestrutura de transporte que fosse capaz de acomodar o erro humano, levando em consideração que as pessoas são vulneráveis e suscetíveis a cometerem erros.

Além da rodovia em si, o conceito de “Rodovias que perdoam” incorpora o projeto das laterais das vias como parte integrante dos critérios de projeto para a infraestrutura rodoviária. Diferentes elementos, como zonas livres, melhorias nos acostamentos, sonorizadores, dispositivos de contenção e atenuadores de impacto fazem com que a lateral da via esteja preparada para acomodar possíveis erros humanos [2]. Informações sobre o projeto seguro das laterais das vias são abordadas no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”.

A vida e a saúde configuram-se como questões primordiais à integridade e dignidade humana. Diante disso, o Sistema Seguro considera que mortes e lesões graves em acidentes de trânsito são evitáveis e, portanto, inaceitáveis. A seguir, são destacados os princípios orientadores do Sistema Seguro [3], [4], [5]:

- (1) As pessoas cometem erros que podem levar a acidentes de trânsito.
- (2) O corpo humano tem a capacidade física limitada para tolerar as forças dos impactos de um acidente, estando suscetíveis a ocorrência de lesões.
- (3) Existe uma responsabilidade compartilhada entre aqueles que projetam, constroem e gerenciam, aqueles que utilizam os veículos e a rede viária, e aqueles que fornecem atendimento após os acidentes. Há uma cadeia de

responsabilidades com três passos, que começa e termina com os projetistas do sistema:

- a) projetistas, em especial — mas também gestores, operadores, legisladores, entre outros —, têm a responsabilidade de projetar rodovias que garantam a segurança do sistema, atendendo às demandas dos diferentes tipos de usuários e fornecendo mensagens claras para que eles adotem um comportamento seguro, sigam as normas e não cometam erros;
 - b) usuários possuem a responsabilidade de seguir as normas e regulamentações, e devem utilizar princípios de direção segura;
 - c) se os usuários cometerem erros ou não seguirem as normas, a responsabilidade pela segurança volta aos projetistas, que devem criar ambientes que perdoem os erros humanos, minimizando suas consequências.
- (4) Todas as partes do sistema devem ser reforçadas para multiplicar seus efeitos, de forma que, se uma parte falhar, os usuários da via ainda estejam protegidos.
- (5) Nenhuma morte ou lesão grave no trânsito é aceitável e a segurança não deve ser penalizada pelo aumento da capacidade ou da mobilidade. Ao invés disso, o sistema viário deve ser tão seguro quanto eficiente.

O Sistema Seguro propõe, ainda, que haja equidade no tratamento das necessidades de segurança de usuários motorizados e não motorizados. Dessa forma, a abordagem confere alta prioridade à proteção dos usuários mais vulneráveis, ou seja, aqueles mais propensos a lesões graves e morte em caso de acidente, como os pedestres e ciclistas.

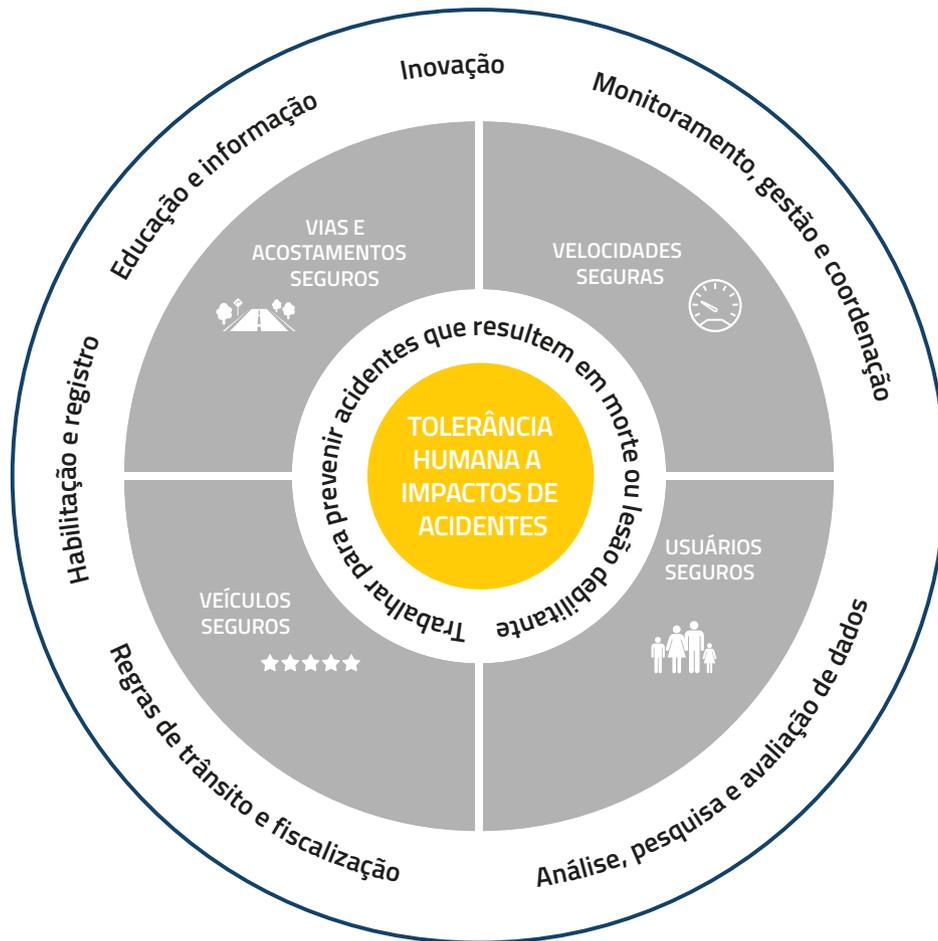
A abordagem do Sistema Seguro é geralmente considerada em termos de quatro pilares de interação chave, representados na Figura 6.1 [6], [7]:

- Vias e zonas laterais seguras: devem ser previsíveis, autoexplicativas e tolerantes aos erros, sendo projetadas para incentivar comportamentos seguros e minimizar os erros dos usuários;

- Velocidades seguras: devem ser adequadas à classe e ao nível de segurança das vias. A velocidade de deslocamento impacta diretamente na severidade dos acidentes. Por isso, os motoristas devem entender e cumprir os limites de velocidade e dirigir de acordo com as condições apresentadas;
- Veículos seguros: devem prevenir acidentes e proteger os usuários da via, incluindo ocupantes do veículo, pedestres e ciclistas, em caso de acidente. Avanços tecnológicos possibilitam, cada vez mais, a utilização de equipamentos de segurança veiculares, como cinto de segurança e aviso de cintos desatados, freios ABS, *airbags*, controle eletrônico de estabilidade, assistente de frenagem¹, sistema de frenagem automática de emergência² (que funciona acionando alertas sonoros e realizando frenagens automáticas em caso de risco de acidente, por meio da detecção de veículos, obstáculos e pedestres com sensores e câmeras), alertas de mudança de faixa (sensores apontam desvios de trajetória indesejados), câmera de ré, entre outros. Embora as características e classificações dos veículos que usam a rodovia variem significativamente, suas diferentes particularidades devem ser levadas em consideração na elaboração de um projeto seguro de rodovias.
- Usuários seguros: devem estar alertas e cumprir as regras de trânsito. Mesmo que as rodovias sejam projetadas para minimizar o erro humano e suas consequências, é necessário reduzir a ocorrência dessas falhas. Isso pode ser alcançado com educação adequada (formação e treinamento), legislação e esforços de fiscalização (para obter altos níveis de conformidade do usuário com as regras rodoviárias), e regimes de habilitação eficazes (para controlar a segurança dos motoristas que usam o sistema e para cancelar as habilitações quando infrações graves são cometidas). É fundamental também, o uso de equipamentos de segurança pessoal, como capacete (para motociclistas e ciclistas), cinto de segurança (para usuários de veículos de quatro rodas), cadeiras de segurança para crianças (modelo apropriado a cada faixa etária), entre outros.

¹ *Break Assist System* (BAS) ou Auxílio de Frenagem de Emergência (AFE), em português.

² *Auto Emergency Breaking* (AEB).

Figura 6.1: Pilares do Sistema Seguro

Fonte: [7]

Além dos quatro pilares, a resposta pós-acidente também faz parte da abordagem do Sistema Seguro. A rapidez e a qualidade da resposta médica, juntamente com a acessibilidade e a qualidade dos serviços de reabilitação, desempenham papéis fundamentais na extensão do trauma e na subsequente redução de sequelas e recuperação das vítimas [6].

Cada um dos pilares do Sistema Seguro está inter-relacionado com os demais. Assim, soluções de segurança devem ser abrangentes, uma vez que ações voltadas a um único pilar em geral não são capazes de alcançar os níveis de segurança desejados. Uma verdadeira abordagem do Sistema Seguro envolve otimização no planejamento, no projeto e na operação em todos os pilares, considerando a relação entre eles e a

importância de sua integração. Isto é, vai além do enfoque tradicional da Segurança Viária, que atua isoladamente em cada pilar.

Uma rodovia segura pode ser descrita, então, como aquela que é projetada, implantada e gerenciada de modo que [6]:

- forneça um ambiente seguro, com condições intrínsecas à rodovia (pista de rolamento, laterais adjacentes etc.) que propiciem uma viagem segura a todos os usuários;
- induza a adoção de velocidade segura;
- informe o motorista sobre as condições a serem encontradas na via e quaisquer situações incomuns ou fora do padrão;
- oriente o motorista através de seções incomuns ou seções de conflito;
- perdoe o comportamento falho ou impróprio de um motorista.

A abordagem do Sistema Seguro vem ganhando espaço de importância à nível mundial. A experiência de países desenvolvidos mostra que o investimento em Segurança Viária seguindo uma abordagem sistêmica apresenta bons resultados³. As ideias dessa abordagem se consolidaram em programas e ações concretas em diversos países⁴, ficando conhecidas por diferentes marcas em cada região [4].

³ Um avanço notável na Segurança Viária tem sido observado nos países pioneiros na adoção da abordagem do Sistema Seguro, como a Suécia e a Holanda. Políticas adotadas nesses países incluem: (i) limites de velocidade mais baixos em áreas urbanas; (ii) rotatórias em interseções de vias rurais; (iii) zonas separadas entre pedestres, ciclistas e veículos motorizados; e (iv) conhecimento profundo de planejamento de rede. Somente três em cada cem mil suecos morrem no trânsito a cada ano, e o índice de mortes no país teve uma redução de 55% entre 1994 e 2015. A Holanda, por sua vez, tem um índice de mortes por cem mil habitantes menor que quatro, e esse índice foi reduzido em mais de 50% no mesmo período. As medidas adotadas salvaram até 1.700 vidas entre 1998 e 2007 [8].

⁴ A PIARC [1] aponta que a abordagem de Segurança Viária conhecida como Sistema Seguro foi construída a partir dos princípios da teoria sueca Visão Zero e da teoria holandesa Segurança Sustentável. Enquanto a Visão Zero se baseia em um princípio ético para eliminar mortes e lesões graves do sistema de transporte, a Segurança Sustentável toma a eliminação de acidentes evitáveis como ponto de partida e atribui maior peso à relação benefício-custo na determinação de intervenções.



Visão Zero (Suécia)

- Em meados da década de 1990, é realizada a concepção inicial da Visão Zero. Em 1997, o Parlamento Sueco aprova a Lei de Segurança no Trânsito e designa a Administração Nacional de Vias Sueca como órgão líder, com um Departamento de Segurança no Trânsito monitorando o trabalho em Segurança Viária.



Segurança Sustentável (Holanda)

- Na década de 1990, a comunidade holandesa de pesquisa em Segurança Viária, sob a liderança do Instituto para Pesquisa da Segurança Viária (SWOV), desenvolve o conceito de Segurança Sustentável. Poucos anos depois, esse conceito é aceito como parte da política holandesa, com a implementações de políticas descentralizadas e apoiadas pelo governo central. Em 1997, ocorre o início do programa, englobando 24 ações acordadas por todos os setores do governo holandês.



Sistema Seguro (Austrália)

- Na década de 1980, ocorre o início da responsabilização dos governos e operadores do sistema pela Segurança Viária. No fim da década de 1990 a 2010, vários estados da Austrália adotam formalmente a abordagem de Sistema Seguro em declarações do governo, planos de ação e estratégias.



Towards Zero Deaths (EUA)

- No início da década de 2000, Washington (2000) e Minnesota (2003) foram os primeiros estados a adotar o objetivo de *Towards Zero Deaths* (Rumo a Zero Mortes) em seus planos de Segurança Viária. Há cooperação entre órgãos do governo nas áreas de transportes, segurança pública, saúde e outras. Entre 2002 e 2013, a administração da cidade de Nova York inicia ações para melhorar a Segurança Viária por meio do desenho das ruas e da gestão da velocidade.



Jornadas Mais Seguras (Nova Zelândia)

- Em 2011, o Comitê Nacional de Segurança Viária anuncia o primeiro Plano de Ação de Jornadas Mais Seguras para 2011-2012.
- Em 2013, ocorre a adoção do segundo Plano de Ação de Jornadas Mais Seguras para 2013-2015.



Visão Zero (Cidade do México)

- Em 2014, a Cidade do México aprova a inovadora Lei de Mobilidade, que reforma a maneira de a cidade abordar a Segurança Viária e a mobilidade. A lei requer o desenvolvimento de novos planos integrados para a cidade, novas regulamentações de trânsito e mudanças institucionais, todos baseados na hierarquia da mobilidade.

Na década de 2010, o Sistema Seguro serviu como base para a definição dos princípios orientadores do Plano Global da Década de Ação para a Segurança no Trânsito, estabelecido pela Organização Mundial da Saúde [9]. Tais princípios representam uma mudança fundamental do pensamento tradicional de Segurança Viária, reformulando como ela é vista e gerenciada. A mudança de foco do número de acidentes para o número de vítimas, por exemplo, tem um impacto sutil, mas importante, na avaliação de acidentes e nas estratégias para lidar com o risco.

O Quadro 6.1 resume as principais diferenças entre a abordagem tradicional da Segurança Viária e a abordagem do Sistema Seguro.

Quadro 6.1: Diferenças entre a abordagem tradicional e a abordagem do Sistema Seguro na Segurança Viária

	Abordagem tradicional	Sistema Seguro
Qual é o problema?	Risco de acidentes	Mortes e lesões graves
O que causa o problema?	Fatores humanos: excesso de velocidade, direção sob efeito de álcool, desatenção, tomada deliberada de riscos etc.	Falhas do sistema
Quem é responsável?	Usuário da via	Projetistas, gestores, operadores e usuários do sistema
Qual o objetivo?	Reduzir o número de mortes e lesões graves com base em objetivos concorrentes, buscando um equilíbrio entre mobilidade e segurança	Eliminar fatalidades e lesões graves, maximizando a mobilidade segura
Qual é a principal abordagem do planejamento?	Mudar o comportamento individual do usuário	Mudar o meio ambiente (ambiente da rodovia e características sociais)
Como a segurança deve ser alcançada?	Ganho incremental a partir do tratamento de pilares individuais (vias, velocidades, veículos e pessoas)	Otimizar as soluções entre os pilares (vias, velocidades, veículos e pessoas): os pilares se compensam quando o desempenho de um deles é inadequado.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [5], [6], [10]

Neste capítulo são apresentados conceitos, elementos e critérios de projeto que têm um impacto significativo na Segurança Viária e influenciam o nível de segurança que uma rodovia pode alcançar. Em cada caso, são apontadas as diretrizes básicas para garantir que esses elementos contribuam da melhor forma para a segurança na rodovia. Por fim, discute-se como as ações voltadas às soluções de engenharia podem promover a Segurança Viária.

6.1 A Segurança Viária nas etapas do projeto de engenharia

Para garantir uma abordagem sistêmica na Segurança Viária deve-se incluir os conceitos de segurança em todas as fases da elaboração e do desenvolvimento de um projeto viário, incluindo planejamento, projeto, construção, operação e manutenção. Uma boa prática é realizar Auditorias de Segurança Viária⁵ durante todas as fases de projeto em rodovias novas e existentes a fim de assegurar que nenhum item de segurança seja esquecido.

Em um projeto, desde sua concepção e fase de viabilidade até o projeto executivo, todos os elementos devem levar em consideração conceitos de Segurança Viária. O Quadro 6.2 apresenta os principais elementos que podem ser analisados em cada fase de um projeto seguro.

⁵ O processo de Auditoria de Segurança Viária (ASV) é explicado no “Capítulo 12 — Abordagens proativas”.

Quadro 6.2: Elementos a serem considerados em cada fase de projeto

Etapa	Elementos
Estudos preliminares	<p>Pesquisa origem destino (OD), análise das viagens, identificação de travessias urbanas e potenciais pontos de risco, identificar os documentos de segurança necessários e eventuais condições atípicas, elementos complexos e componentes de alto custo.</p> <p>Desenvolver análise preliminar de segurança para projetar os seguintes elementos: classe da rodovia, velocidade de projeto, raios mínimos de curva horizontal, entre outros.</p>
Projeto básico	<p>Desenvolver análise detalhada de segurança para projetar elementos do alinhamento horizontal, alinhamento vertical, seção transversal (ou seja, declividade transversal, superelevação, superlargura, distância de visibilidade de parada (DVP), número e largura das faixas de rolamento, largura do acostamento e dos canteiros), controle de acessos, zona livre lateral, entre outros.</p>
Projeto executivo	<p>Aprofundar o grau de detalhamento da segurança de todos os elementos de projeto determinados na etapa anterior (alinhamento horizontal, alinhamento vertical, elementos da seção transversal etc.) e detalhar elementos específicos, como sinalização, drenagem, dispositivos de contenção, zona livre lateral, entre outros.</p>

Fonte: elaborado pelo autor com base em [11], [12]

6.2 Classificação das rodovias

Ao planejar e projetar uma rodovia segura, a primeira decisão a ser tomada é em relação à definição da classe e a função da rodovia, durante a etapa de estudos preliminares. Para volumes e composições de tráfego previstos, a classe e a função da rodovia fornecem uma base para a seleção da velocidade de projeto e de critérios geométricos, a partir do nível de serviço que se pretende alcançar.

De acordo com a "Instrução de Projeto: Projeto Geométrico" [12], o DER/SP adota como referência na elaboração de projetos a classificação técnica das rodovias, como apresentado no Quadro 6.3. Os conceitos básicos relacionados a essa classificação são apresentados de forma detalhada no documento "Instrução de Projeto: Notas Técnicas de Projeto Geométrico" do DER/SP [13].

Quadro 6.3: Classes das rodovias e suas principais características

Classe	Terreno			Critérios de classificação técnica
	PLANO	ONDULADO	MONTANHOSO	
O	Pista Dupla Controle Total de Acessos VP = 120 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 3%	Pista Dupla Controle Total de Acessos VP = 100 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 4%	Pista Dupla Controle Total de Acessos VP = 80 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 5%	Decisão administrativa
IA	Pista Dupla Controle Parcial de Acessos VP = 100 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 3%	Pista Dupla Controle Parcial de Acessos VP = 80 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 4,5%	Pista Dupla Controle Parcial de Acessos VP = 60 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 6%	Adotada quando os volumes de tráfego previstos para o horizonte de projeto correspondem a níveis de serviço inferiores a "C" em uma via de pista simples.
IB	Pista Simples VP = 100 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 3%	Pista Simples VP = 80 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 4,5%	Pista Simples VP = 60 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 6%	Adotada para volume bidirecional do horizonte de projeto de 200 veículos/h ou Volume Diário Médio bidirecional de 1.400 veículos mistos.
II	Pista Simples VP = 100 km/h LF ≥ 3,60 m RM ≤ 3%	Pista Simples VP = 70 km/h LF ≥ 3,50 m RM ≤ 5%	Pista Simples VP = 50 km/h LF ≥ 3,30 m RM ≤ 7%	Adotada para Volume Diário Médio bidirecional do horizonte de projeto entre 700 e 1.400 veículos mistos.
III	Pista Simples VP = 80 km/h LF ≥ 3,50 m RM ≤ 4%	Pista Simples VP = 60 km/h LF ≥ 3,30 m RM ≤ 6%	Pista Simples VP = 40 km/h LF ≥ 3,30 m RM ≤ 8%	Adotada para Volume Diário Médio bidirecional do horizonte de projeto entre 300 e 700 veículos mistos.
IVA	Pista Simples VP = 80 km/h LF ≥ 3,00 m RM ≤ 4%	Pista Simples VP = 60 km/h LF ≥ 3,00 m RM ≤ 6%	Pista Simples VP = 40 km/h LF ≥ 3,00 m RM ≤ 8%	Adotada para Volume Diário Médio bidirecional do horizonte de projeto inferior a 200 veículos mistos.
IVB	Pista Simples VP = 60 km/h LF ≥ 2,50 m RM ≤ 6%	Pista Simples VP = 40 km/h LF ≥ 2,50 m RM ≤ 8%	Pista Simples VP = 30 km/h LF ≥ 2,50 m RM ≤ 10%	

VP — Velocidade de projeto
 LF — Largura mínima da faixa de rolamento
 RM — Inclinação máxima da rampa

Fonte: elaborado pelo autor com base em [12]

A classificação funcional de uma rodovia é baseada principalmente nas características de viagem dos veículos motorizados — embora a acomodação de ciclistas, pedestres e usuários de transporte público seja uma consideração importante no planejamento e projeto de rodovias. A quantidade de acessos e o nível de mobilidade oferecidos são os serviços básicos que caracterizam as classes funcionais da rodovia. Esses serviços (mobilidade e acessibilidade) são conflitantes entre si: a função de mobilidade diminui à medida que os acessos aumentam [14].

Rodovias de classes mais elevadas (Classes 0 e I) têm alto nível de mobilidade. Elas conectam os principais polos geradores de viagens (PGVs)⁶, atendendo a grandes volumes de tráfego e possibilitando viagens longas e velocidades elevadas. Já rodovias de classes mais baixas (Classes II, III e IV) fornecem mais acessos a terrenos adjacentes, sendo caracterizadas por viagens de distâncias mais curtas, velocidades baixas e volumes de tráfego geralmente menores.

A classificação das rodovias influencia diretamente nos elementos de projeto visando a Segurança Viária. A partir da classe da rodovia são estabelecidas diferentes medidas que devem ser tomadas a fim de garantir um nível de segurança aceitável para os usuários. Rodovias de classes mais elevadas tendem a ser mais seguras, uma vez que são dotadas de padrões técnicos mais elevados. O controle total de acessos, que ocorre em rodovias de Classe 0, é uma característica de projeto que promove a segurança, pois diminui a frequência e a variedade de eventos que exigem a atuação dos motoristas, reduzindo a necessidade dos motoristas realizarem tarefas de orientação⁷ [15]. Além disso, outros elementos de projeto como canteiros centrais e acostamentos mais largos, zonas laterais livres de obstruções, uso de barreiras de proteção e interseções em desnível resultam em um ambiente mais seguro.

Em rodovias de Classe 0 e I, os fatores que mais contribuem para a severidade dos acidentes são as elevadas velocidades praticadas e o diferencial de velocidades entre diferentes veículos. Assim, os tipos de acidentes que resultam em lesões graves

⁶ PGVs são empreendimentos comerciais e residenciais de grande porte que têm capacidade de atrair ou produzir um número significativo de viagens no contexto de uma cidade, causando impactos positivos e negativos no sistema viário.

⁷ Conforme definido no “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”, a tarefa de orientação refere-se à interação com outros veículos, na qual os motoristas utilizam julgamento, estimativa e previsão para tomar decisões em um ambiente de mudança constante.

são: saída de pista, tombamento, colisão traseira, engavetamento e colisão com obstáculo fixo.

Por outro lado, em rodovias de classes mais baixas (Classes II, III e IV) as velocidades de tráfego costumam ser menores, e destacam-se outros tipos de acidentes pela frequência e severidade. Atropelamentos, por exemplo, são mais comuns devido ao maior tráfego de ciclistas e pedestres; já colisões em interseções ocorrem devido ao maior número de acessos, interseções e pontos de conflito; colisões frontais, por sua vez, são mais frequentes em rodovias de pista simples, devido ao fluxo oposto adjacente.

Mesmo que a rodovia esteja projetada inicialmente de acordo com os critérios estabelecidos pela classe e utilização da via, a operação viária não é estática. À medida que ocorre desenvolvimento lindeiro e alterações no sistema viário, a rodovia pode desenvolver outras funções, diferentes daquelas originalmente projetadas. Em vista disso, a avaliação da funcionalidade da via deve ser realizada periodicamente, de modo que a segurança dos usuários seja mantida mesmo que haja mudanças na função que a via desempenha.

6.3 Critérios de projeto

Com a classe da rodovia definida, a partir do nível de serviço exigido e dos volumes e composições de tráfego previstos, é possível selecionar critérios de projeto. A “Instrução de Projeto: Projeto Geométrico” do DER/SP padroniza os procedimentos e critérios a serem adotados na elaboração do projeto geométrico de rodovias sob jurisdição do Departamento. Os procedimentos e critérios são definidos para diferentes situações, destacadas a seguir [12]:

- estudos preliminares de traçado e estudos funcionais;
- projeto de engenharia para implantação de rodovias;
- projeto de engenharia para recuperação de rodovias implantadas;
- projeto de engenharia para duplicação de rodovias.

Na fase de estudos preliminares, prevista apenas para a implantação de novas rodovias, deve-se definir diretrizes e estabelecer uma série de critérios (como raios mínimos de curva horizontal, número e largura das faixas de rolamento, gabaritos verticais e horizontais mínimos, rampas máximas, grau do controle de acesso à via, entre outros) para permitir, ainda nessa fase, o desenvolvimento de alternativas de traçado viáveis do ponto de vista da geometria [12].

Na implantação de rodovias, o projeto deve ser elaborado levando em consideração as recomendações gerais para os alinhamentos horizontal e vertical e a coordenação entre eles, assim como as características básicas dos elementos da seção transversal e parâmetros como distâncias de visibilidade, largura das faixas e rolamento e acostamento⁸, entre outros.

No caso de recuperação de rodovias, a fase de projeto envolve, também, o diagnóstico das deficiências geométricas existentes. Assim, deve-se identificar as irregularidades na geometria da via, tais como inadequações na seção transversal, nos alinhamentos, no greide e na superelevação, com relação às características da velocidade operacional. Nos segmentos onde essa análise indicar a necessidade de reparos, devem ser propostas soluções para adequar os parâmetros geométricos, fazendo uso de melhorias e correções localizadas [12].

No caso de duplicação de rodovias, prevê-se a implantação de nova pista, de forma que as recomendações acerca da Implantação de rodovias devem ser consideradas [12]. A duplicação pode envolver, ainda, a recuperação da pista existente, sendo necessário atender também aos critérios estabelecidos para esse caso.

Entre os elementos de projeto que afetam a Segurança Viária estão: velocidade, geometria, consistência geométrica, pavimento, sinalização, iluminação, acessos, interseções, elementos de segurança e manutenção. Esses elementos e outras características de projeto relacionadas ao volume e à composição do tráfego serão abordados com mais detalhes na sequência e nos Capítulos 7 a 11.

Para muitos elementos de projeto (superelevação, distância de visibilidade, alinhamento vertical e horizontal etc.), há um intervalo de valores de referência, que

⁸ Esses elementos do projeto são abordados com maior profundidade no “Capítulo 7 — Projeto seguro de rodovias”.

estabelece níveis mínimos e/ou máximos a serem respeitados para conferir condições de conforto, fluidez e segurança à rodovia. Padrões mais elevados (critérios mais rigorosos) exigem maiores investimentos, mas podem se provar mais eficientes quanto ao benefício-custo no longo prazo, especialmente quando volumes elevados e maior variedade na composição do tráfego são esperados [15]. Rodovias com grande volume de tráfego que possuem controle de acesso e separação física para os fluxos de sentidos contrários, por exemplo, apresentam condições de segurança superiores às demais.

Contudo, projetar uma rodovia segura não é o mesmo que projetar uma via que simplesmente atenda aos critérios de projeto. Embora a conformidade com os padrões e orientações seja necessária para garantir condições de segurança, existem situações em que seguir apenas as recomendações pode não ser suficiente, uma vez que elementos individuais projetados de acordo com os padrões podem, quando combinados, resultar em uma condição insegura [16]. Como exemplo, alinhamentos horizontais e verticais quando não coordenados podem resultar em inconformidades geométricas na visão do projeto tridimensional⁹ [13]. Assim, a Segurança Viária pode ser caracterizada como Nominal ou Substantiva.

A Segurança Nominal é baseada nos padrões de projeto, ou seja, está relacionada ao atendimento ou não dos critérios de projeto. Dessa forma, quando uma rodovia atende aos critérios mínimos (ou máximos) de projeto, ela é caracterizada como nominalmente segura. No entanto, a Segurança Nominal não caracteriza a segurança real ou esperada de uma rodovia.

A Segurança Substantiva, por outro lado, é baseada no desempenho de segurança da rodovia¹⁰, podendo ser quantificada em termos de:

- Número absoluto de acidentes: número de acidentes em um determinado segmento da rodovia ou interseção durante um período especificado;
- Índice de acidentes: número de acidentes normalizado em razão de outras grandezas para levar em conta a exposição, como por exemplo acidentes por quilometro percorrido;
- Tipologia do acidente;

⁹ Esse tema é abordado com mais detalhes no “Capítulo 7 — Projeto seguro de rodovias”

¹⁰ Indicadores de desempenho de segurança são apresentados no “Capítulo 3 — Acidentalidade”

- Severidade do acidente: podendo ser acidentes com vítima fatal, acidente com vítima com ferimentos graves, acidente com vítima com ferimentos leves ou acidente com danos materiais somente (sem vítima).

O desafio do projetista é, portanto, alcançar o maior nível de segurança substantiva possível, considerando as restrições físicas e financeiras do projeto. É preciso atentar-se aos elementos e características do projeto em um sentido amplo, sendo capaz de identificar a interação entre os diversos elementos de projeto e o efeito dessa interação na Segurança Viária, e não limitar-se aos critérios limítrofes (mínimos ou máximos) estabelecidos.

Problemas adicionais de segurança podem surgir quando novas necessidades são impostas a rodovias existentes, onde há limitações de projeto e de largura da faixa de domínio. Em rodovias com volume de tráfego elevado e altas velocidades, por exemplo, pode ocorrer o desenvolvimento lindeiro, resultando em um aumento no número de acessos e de conflitos de tráfego. Desse modo, é importante garantir que o projeto da plataforma tenha largura suficiente para instalar dispositivos de contenção viária quando necessário.

6.3.1 *Considerações sobre diferentes usuários*

Definições de projeto, operação e manutenção das rodovias são influenciadas pelos diferentes usuários que as utilizam. Critérios de projeto, como velocidade de projeto, distâncias de visibilidade, raio das curvas, greide etc. são definidos de acordo com o veículo de projeto. A escolha do veículo deve levar em consideração a composição do tráfego da rodovia, e ser representativa da maioria dos veículos existentes ou previstos [14].

Em geral, as características físicas e operacionais de veículos leves são selecionadas como base para as escolhas dos elementos de projeto. Isso quer dizer que, em diversas situações, veículos pesados e, especialmente, veículos longos (como Combinações de Veículos de Carga — CVCs) não são contemplados pelas condições físicas da via. Assim, ficam impossibilitados de realizar determinadas manobras com segurança, como curvas em locais com faixa de rolamento com largura insuficiente para este tipo

de veículo ou conversões em locais com raio de curvatura menor que os raios mínimos necessários para o comprimento dos veículos longos.

Quando o tráfego de uma rodovia apresenta veículos pesados em grande parte de sua composição, a operação e a Segurança Viária podem ser impactadas, especialmente em termos da redução da mobilidade da via. Isso ocorre, pois veículos pesados geralmente apresentam menor capacidade de aceleração e desaceleração, quando comparados aos veículos leves, o que gera um diferencial de desempenho em relação aos greides e curvas horizontais. Nesses casos, é particularmente importante incluir considerações específicas para esses veículos na elaboração do projeto e no planejamento da operação e da manutenção da via.

Nas proximidades de interseções, por exemplo, onde são observadas manobras de cruzamento, entrada ou saída de veículos da rodovia, o comportamento dos veículos leves e veículos pesados quanto ao seu desempenho de aceleração e desaceleração se torna relevante para a segurança [17]. Quando há um número significativo de veículos pesados na composição do tráfego de rodovias com velocidade elevada e grande volume de tráfego, deve-se considerar medidas de engenharia que amenizem o diferencial de velocidades.

Nesses locais, recomenda-se a implantação de faixas de mudança de velocidade (faixas de aceleração e desaceleração), que consistem em faixas auxiliares de tráfego cujo objetivo é proporcionar espaço suficiente para que veículos que entram ou saem da via ajustem a velocidade sem causar interferências no fluxo. Assim, é possível elevar a capacidade da via e reduzir a ocorrência de acidentes [17].

Em regiões com relevo acidentado, a diferença de velocidade entre veículos leves e pesados é ainda mais significativa: em rampas ascendentes longas e/ou íngremes, os veículos pesados costumam trafegar com velocidades reduzidas, enquanto em rampas descendentes, esses veículos podem perder o controle, devido a uma falha no sistema de frenagem ou outra falha mecânica. O diferencial de velocidades em rampas ascendentes resulta em um elevado risco de colisões, especialmente em rodovias de pista simples localizadas em terreno sinuoso, nas quais é mais difícil realizar manobras de ultrapassagem. Nesses casos, devem ser implantadas faixas adicionais, que possibilitam a ultrapassagem e separam os veículos mais lentos dos mais rápidos. Já em rampas descendentes acentuadas, é recomendada a implantação de áreas de escape para

veículos pesados, de modo a reduzir as consequências caso ocorra perda de controle do veículo.

Além dos usuários motorizados (veículos leves e pesados), usuários vulneráveis (pedestres e ciclistas) também devem ser contemplados nos projetos de rodovias. A classificação funcional das rodovias confere níveis de mobilidade e de velocidades diferentes, o que influencia no tratamento destinado aos usuários vulneráveis. Nas rodovias de classes mais elevadas, as velocidades praticadas são maiores, o que aumenta a exposição ao risco de pedestres e ciclistas à ocorrência de acidentes de maior severidade, visto que o corpo humano possui tolerância limitada a forças de impacto provocadas em um acidente.

É importante, então, que sejam adotadas medidas de segurança adequadas a cada tipo de rodovia para garantir um nível de segurança apropriado a todos os seus usuários. O tratamento de usuários vulneráveis no projeto de rodovias seguras é abordado com mais detalhes no “Capítulo 11 — Considerações sobre usuários vulneráveis”.

Outro usuário que merece atenção especial em projetos seguros de rodovias é o motociclista. Esse usuário é mais vulnerável em relação aos demais veículos motorizados, além de ser mais influenciado pela infraestrutura viária. Isso porque motocicletas oferecem pouca proteção aos motociclistas e podem alcançar velocidades elevadas para o nível de proteção que possuem. Motocicletas também estão mais sujeitas à perda de estabilidade lateral, que pode levar à queda ou a desvios de trajetória. Além disso, a probabilidade de não serem vistas por outros condutores é maior e a estrutura veicular das motocicletas permite a realização de manobras perigosas, como trafegar entre as faixas de rolamento.

Motocicletas de alta potência apresentam taxas de aceleração maiores que veículos leves, realizando mais manobras de ultrapassagem em pelotões e aumentando o risco de se envolverem em acidentes. Por outro lado, motocicletas de baixa cilindrada não são capazes de acompanhar a velocidade desenvolvida em rodovias de alta velocidade, o que também pode representar um risco para a segurança. O “Capítulo 11 — Considerações sobre usuários vulneráveis” também aborda a segurança de motociclistas no projeto seguro de rodovias.

6.4 Consistência e legibilidade

A consistência geométrica é um conceito fundamental da Segurança Viária. Esse conceito está relacionado ao controle da variação dos parâmetros geométricos de uma rodovia, e tem como objetivo atender às expectativas dos motoristas e evitar mudanças bruscas nos elementos geométricos (como alinhamento da via, configuração de interseções, sinalização semaforica, localização de pontos de acessos e de zonas de ultrapassagem, incluindo elementos das laterais da via). Portanto, busca manter um mesmo padrão em elementos geométricos sucessivos, evitando a ocorrência de singularidades.

Combinações de elementos de projeto presentes em diferentes segmentos devem estar dispostas de forma harmônica e equilibrada, evitando surpreender os usuários com descontinuidades. Assim, a consistência geométrica contribui para que os motoristas realizem a tarefa de dirigir de forma harmoniosa e sem manobras súbitas que possam aumentar o risco de acidentes [18]. Além disso, permite que os usuários saibam como reagir às situações presentes na via e possam confiar em suas experiências anteriores, auxiliando-os na tarefa de dirigir. Dessa forma, o risco de os usuários cometerem erros é menor, pois há menos informações novas a serem processadas.

É tarefa dos projetistas garantir a consistência geométrica dos projetos. Contudo, tendo em vista que alguns elementos podem ser inconsistentes ao longo das rodovias, é responsabilidade dos projetistas, então, minimizá-las. Ao mesmo tempo, nos locais onde inconsistências são inevitáveis, os projetistas devem adotar medidas para garantir que a operação da rodovia seja segura, com o uso de sinalização adequada e de delineamento para alertar os motoristas, assim como, com a provisão de medidas de segurança específicas.

De modo geral, a consistência é alcançada de forma sistêmica, levando-se em conta critérios para todos os elementos críticos de projeto, ao invés de apenas considerá-los separadamente. Em rodovias de classes mais elevadas, a adoção de parâmetros de projeto compatíveis com velocidades diretrizes mais altas — associada à verificação das recomendações gerais de geometria —, é geralmente suficiente para assegurar a consistência do traçado [12].

BOX 3

SOFTWARE IHSDM



O software *Interactive Highway Safety Design Model* (IHSDM)¹¹ é um produto do *Safety Research and Development Program* da *Federal Highway Administration* (FHWA) com ferramentas que permitem a análise da segurança e operação de rodovias de pista simples, incluindo um módulo de consistência geométrica. A partir de dados vinculados a características geométricas, o software simula um padrão de utilização da via, sendo possível avaliar o projeto geométrico antes da sua implantação.

O IHSDM também pode ser utilizado na análise de rodovias existentes, identificando pontos críticos e avaliando projetos alternativos. Para rodovias já implantadas o software permite a inclusão de dados adicionais, como o Volume Diário Médio (VDM) e dados de acidentes, de forma a calibrar o modelo e refinar as estimativas [19].

O conceito de legibilidade, por sua vez, refere-se a projetos geométricos de fácil leitura e entendimento, especialmente com relação à compreensão de dispositivos de acesso e entroncamentos. Assim, evita-se surpreender os motoristas com elementos desconhecidos capazes de gerar indecisões ou erros que podem levar à ocorrência de acidentes. A legibilidade é de suma importância para que os usuários possam ler, compreender e reagir às informações fornecidas pela via em tempo hábil.

Em situações onde a quebra de expectativa é inevitável, ou seja, em trechos que exigem comportamento diferenciado dos motoristas (como em acessos e saídas localizados antes ou depois de viadutos), é necessário que as informações presentes na via sejam capazes de alertar os usuários do que está por vir e auxiliá-los na decisão do trajeto a seguir. Dessa forma, as informações devem ser fornecidas antecipadamente e repetidamente, garantindo que os usuários saibam quais são os elementos desconhecidos ou inesperados presentes adiante.

A Figura 6.2 exemplifica uma situação que pode facilmente confundir os motoristas por não apresentar legibilidade adequada: a saída à direita tende a ser lida pelo

¹¹ O software IHSDM é gratuito e está disponível para download em <https://highways.dot.gov/research/safety/interactive-highway-safety-design-model/software-download-install>. Acesso em: 07 jun. 2023.

condutor, sobretudo em situações climáticas desfavoráveis, como a continuação do traçado da rodovia, e não um acesso.

Figura 6.2: Condição na rodovia que pode confundir os usuários



Fonte: elaborado pelo autor com base em [15]

A consistência e a legibilidade estão relacionadas a um terceiro conceito importante para a Segurança Viária: as rodovias autoexplicativas (*self-explaining roads*, em inglês). Esse conceito é fundamentado na percepção que os motoristas têm da rodovia e no modo como essa percepção influencia seu comportamento.

Assim, rodovias autoexplicativas devem ser projetadas para que os usuários sejam capazes de perceber rapidamente em que tipo de via estão trafegando e saibam instintivamente como se comportar [20]. Em outras palavras, rodovias de classes semelhantes devem ser consistentes entre si e rodovias de diferentes classes devem ser distintas. O uso de elementos de projeto uniformes e compatíveis com cada classe, assim como o uso de sinalização e marcações claramente perceptíveis, contribui para esclarecer para os condutores quais comportamentos são esperados em cada tipo de via.

Além disso, o projeto da rodovia deve ser capaz de influenciar o comportamento dos motoristas implícita ou inconscientemente [21], induzindo, por exemplo, à escolha de uma velocidade de tráfego segura, adequada às características da via. É necessário, portanto, entender quais características de projeto levam os usuários a agir de acordo com o que se espera.

Em resumo, rodovias autoexplicativas devem ser [20]:

- Facilmente reconhecíveis: rodovias de mesma classe (com a mesma função, o mesmo perfil de velocidade e o mesmo tipo de usuário) devem ser semelhantes;
- Facilmente distinguíveis: rodovias de classes diferentes devem ser claramente distintas (na aparência e *layout*);
- Facilmente interpretáveis: o comportamento esperado dos motoristas deve ser claro, ou seja, as características da rodovia devem induzir os usuários a agir da forma esperada.

Em acessos e entroncamentos rodoviários é preciso fornecer áreas de transição (como faixas adicionais de aceleração e desaceleração) que permitam que os condutores possam se adaptar de uma situação de tráfego para outra [1]. Além disso, é importante manter um campo de visão seguro, com contrastes suficientes para auxiliar na orientação dos motoristas e aumentar seu estado de alerta.

Esses três conceitos abordados (consistência, legibilidade e rodovias autoexplicativas) buscam melhorar a Segurança Viária levando em consideração fatores associados ao comportamento humano, em particular, fatores relacionados às expectativas dos usuários.

6.5 Velocidade

O gerenciamento da velocidade é uma etapa fundamental para um Sistema Seguro. Como mencionado no “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”, há consenso entre os profissionais de Segurança Viária de que a velocidade contribui tanto para a ocorrência quanto para severidade de acidentes.

Em engenharia de tráfego, o termo “velocidade” pode ser empregado para referir-se à diferentes conceitos, como velocidade de projeto, velocidade operacional e velocidade regulamentada. A velocidade de projeto é a velocidade para a qual a rodovia é desenhada e corresponde à maior velocidade com que um trecho viário pode

ser percorrido com segurança, quando o veículo está submetido apenas às limitações impostas pelas características geométricas da via.

Após a definição da função e da classe da rodovia, determinar a velocidade de projeto é um dos primeiros passos da definição dos elementos do projeto geométrico da rodovia. É a velocidade de projeto que orienta a seleção de grande parte dos parâmetros geométricos de um projeto [14].

Em uma rodovia, é desejável definir uma velocidade de projeto constante. A variação da velocidade ao longo da rodovia tem um impacto direto na segurança: quanto maior e mais inesperada a variação, maior é a probabilidade de ocorrência de acidentes. Em locais onde mudanças no terreno e em outros elementos físicos podem exigir mudanças na velocidade, devem ser empregados elementos de transição, como sinalização clara ou, em alguns casos, curvas, de forma a influenciar a velocidade praticada pelos motoristas [15].

A velocidade operacional, por sua vez, é definida como a velocidade na qual os condutores operam seus veículos sob condições de fluxo livre. Ela pode ser estimada por meio da observação do 85º percentil da distribuição de velocidades praticadas; isto é, 85% dos veículos em condições de fluxo livre viajam abaixo dela.

Já a velocidade regulamentada é definida a partir dos parâmetros geométricos da via e deve respeitar os limites máximos estabelecidos pelo DER/SP para cada classe. Ao estabelecer os limites de velocidade em uma rodovia, é preciso levar em consideração [3], [22]:

- o tipo e combinação de usuários;
- funções e classes das rodovias;
- composição do tráfego;
- condições geométricas da via;
- condições operacionais da via — nas rodovias em operação, a velocidade regulamentada pode ser ajustada com base na velocidade operacional;
- nível de segurança passiva da rodovia — nível de Segurança Viária, sobretudo com relação à presença de diferentes elementos de segurança na via e à sua capacidade de perdoar os erros humanos, criando condições de baixo risco para todos os usuários;
- capacidade dos veículos em resistir aos impactos e evitar acidentes.

As velocidades praticadas são resultado dos elementos de projeto e das escolhas subconscientes feitas pelos usuários [1], sendo influenciadas pela geometria, largura de faixas, zonas laterais, fiscalização e outros elementos. Por exemplo, em rodovias com pistas e acostamentos mais largos, os motoristas tendem a dirigir mais rápido. Em contrapartida, curvas acentuadas e rodovias estreitas fazem com que os motoristas percebam maior risco e, assim, reduzam a velocidade.

A visão periférica também pode influenciar a escolha da velocidade praticada pelos motoristas. A presença de elementos nas laterais das vias estimulam a visão periférica, o que gera uma percepção de maior velocidade e faz com que os motoristas adotem velocidades mais baixas [23]. Por outro lado, o aumento da velocidade provoca uma diminuição do campo de visão do motorista, o que dificulta a percepção dos elementos presentes ao redor dos veículos, pois o foco do motorista está no movimento à sua frente.

Outro aspecto importante para escolha da velocidade praticada é o nível de ruído. Em rodovias silenciosas, com pouco ruído, os motoristas tendem a adotar velocidades mais altas, enquanto em rodovias com alto nível de ruído, os motoristas reduzem a velocidade. Nesse sentido, destaca-se a importância do conceito de rodovias autoexplicativas, uma vez que, entender as informações que a rodovia é capaz de fornecer aos usuários, por meio de seus diversos elementos, é fundamental para estabelecer velocidades que se autorregulam, e que, portanto, reduzem a necessidade de fiscalização [23].

Ressalta-se que o diferencial de velocidades pode contribuir para o aumento da ocorrência de acidentes, especialmente colisões traseiras e colisões devido a mudanças de faixa. Assim, características de projeto que contribuem para reduzir a diferença de velocidade entre os veículos (como rampas suaves¹², faixas de mudança de velocidade e boa sinalização vertical e horizontal) podem reduzir a ocorrência de acidentes. De acordo com estudos realizados nos Estados Unidos, a severidade de colisões traseiras entre veículos leves e pesados é maior à medida que o diferencial de velocidades aumenta [24]. Por esse motivo, em algumas rodovias adota-se a mesma velocidade limite para veículos leves e pesados. Além disso, a velocidade mínima para trafegar em uma

¹² Especialmente em situações de aclave, os veículos pesados tendem a trafegar em velocidades mais baixas. Por isso, soluções como faixas adicionais (*climbing lanes*, em inglês) são recomendadas em rodovias de maior volume de tráfego. Esse assunto é abordado com mais detalhes no “Capítulo 7 — Projeto seguro de rodovias”

rodovia não deve ser inferior à metade da velocidade máxima permitida, a fim de evitar que grandes diferenças de velocidade ocorram.

O Quadro 6.4 apresenta algumas recomendações relacionadas à velocidade que podem contribuir para tornar as rodovias mais seguras.

Quadro 6.4: Recomendações a respeito da velocidade para aumentar a segurança nas rodovias

Recomendação	Considerações
Reduzir a velocidade operacional nas rodovias, bem como as diferenças de velocidade entre os veículos	Recomenda-se reduzir a velocidade praticada nas rodovias, assim como as diferenças de velocidade entre veículos. Essas mudanças podem resultar em ganhos de segurança substanciais, como redução da acidentalidade e da severidade dos acidentes.
Determinar limites de velocidade de acordo com os princípios do Sistema Seguro	<p>O projeto do sistema viário e os limites de velocidade estabelecidos devem considerar as forças que o corpo humano é capaz de tolerar. Em alguns contextos, recomenda-se a redução da velocidade regulamentada, como nos seguintes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ rodovia rural sem canteiro central e/ou sem barreira central (rodovias de pista simples ou múltiplas faixas): a redução da velocidade pode reduzir o risco de colisões frontais; ▪ interseções: a redução da velocidade pode reduzir o risco de colisões laterais; ▪ compartilhamento da via por diferentes usuários, especialmente travessias urbanas: se houver veículos motorizados e usuários vulneráveis compartilhando o espaço viário, a redução da velocidade tem impacto significativo nas consequências dos acidentes que envolvem usuários vulneráveis.
Adequar a infraestrutura rodoviária e a fiscalização se os limites de velocidade forem aumentados	Recomenda-se implantar melhorias na infraestrutura e aplicar uma fiscalização mais rígida caso um aumento no limite de velocidade seja considerado, de modo a compensar o risco aumentado resultante da maior velocidade de tráfego.
Utilizar o controle automático de velocidade para reduzir a velocidade de forma eficaz	<p>Sistemas de controle automático de velocidade vêm sendo utilizados internacionalmente como uma medida para reduzir as velocidades praticadas e, como consequência, a ocorrência de acidentes.</p> <p>Controle de seção (obtido a partir da medição da velocidade média ao longo de uma seção da via) é uma medida relativamente nova utilizada internacionalmente, que parece ser muito eficaz não apenas na redução da velocidade, mas também, contribui para um fluxo de tráfego mais homogeneizado.</p>

Fonte: elaborado pelo autor com base em [25]

6.6 Influências do tráfego

Características do tráfego também são capazes de influenciar a Segurança Viária. O volume e a composição do tráfego, assim como o nível de serviço, podem ter um grande impacto na ocorrência e na severidade de acidentes.

Rodovias de múltiplas faixas, por exemplo, são projetadas para permitir que um elevado volume de veículos se movimente com segurança em altas velocidades. Quando a alta demanda de tráfego resulta em baixos níveis de serviço¹³, as rodovias não operam de maneira eficiente, podendo atingir sua capacidade e ocasionar congestionamentos. Nesses casos, acidentes como colisões traseiras e engavetamentos se tornam mais comuns.

6.6.1 Volume e composição

Dados de acidentes apontam que rodovias com volumes de tráfego elevados tendem a apresentar números absolutos de acidentes maiores. Apesar do volume ser um fator explicativo para a ocorrência de acidentes, o que se observa é que a relação entre estas variáveis não é linear [26].

Estudos que relacionam o volume de usuários com a ocorrência de acidentes são escassos. Entretanto, estima-se que quando usuários trafegam acompanhados de seus pares (ou seja, em grupos de usuários de veículos motorizados, motociclistas, ciclistas ou pedestres), a segurança experimentada por eles é maior do que seria caso estivessem trafegando sozinhos; isto é, um pedestre estará mais seguro ao trafegar com outros pedestres [26].

Uma possível explicação para esse efeito na segurança de pedestres e ciclistas, é que existe uma tendência de os motoristas prestarem mais atenção aos usuários vulneráveis se esses estiverem em maior número, como um pelotão de ciclistas ou grande número de pedestres cruzando a via. Isso também é verdade em situações com elevado volume de veículos: a fim de evitar acidentes, os motoristas tendem a prestar mais atenção ao tráfego quando o volume de veículos é maior. Nesse caso, a velocidade praticada em situações de tráfego intenso costuma ser menor, o que influencia tanto a ocorrência quanto a severidade de acidentes [26].

¹³ Níveis de serviço baixos são aqueles que apresentam condições operacionais com fluxos instáveis (NS D, E e F). Mais informações sobre níveis de serviço podem ser encontradas no Highway Capacity Manual (HCM) da AASHTO [27].

Com relação à composição do tráfego, a presença de veículos pesados é um fator que pode afetar a Segurança Viária. Veículos leves e pesados costumam trafegar com velocidades diferentes, especialmente em rampas longas ou íngremes, e esse diferencial de velocidades pode impactar a ocorrência de acidentes, como visto no item "6.5 — Velocidade".

Dessa forma, quando forem realizados estudos de tráfego, é importante considerar separadamente a presença de veículos pesados e, especialmente, veículos longos (como CVCs), uma vez que o desempenho no tráfego desses veículos é diferente do desempenho de veículos leves.

Além disso, a combinação de veículos pesados e motocicletas, bicicletas e pedestres costuma resultar em lesões graves para os usuários mais vulneráveis quando acidentes ocorrem, uma vez que, como mencionado no "Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes", um dos principais fatores contribuintes para a severidade de um acidente é a massa do veículo.

6.6.2 Congestionamento e gestão de tráfego

Aumento do volume de tráfego, mudanças na composição do tráfego, variação demográfica, bem como o desenvolvimento da região no entorno da rodovia podem introduzir problemas no nível de serviço, geralmente não previstos no projeto viário. Um nível de serviço baixo não é desejável principalmente devido aos transtornos relacionados ao tempo de viagem dos usuários. Além disso, segmentos de via congestionados impactam na acidentalidade, pois o represamento de veículos em determinados segmentos ou em interseções causam diferenças significativas nas velocidades entre o tráfego represado e o tráfego que se aproxima. Nesses casos, tanto a ocorrência (em números absolutos) quanto a severidade de acidentes aumentam, especialmente relativos à colisão traseira e engavetamento.

A própria eventualidade de um acidente pode prejudicar consideravelmente a capacidade da rodovia e contribuir para que outros acidentes ocorram. Tendo como exemplo uma rodovia com 3 faixas por sentido, quando sua faixa mais à esquerda é bloqueada devido a um acidente, a capacidade da rodovia é reduzida em 50% neste sentido [15].

Com o objetivo de reduzir a ocorrência de acidentes que são influenciados pelos congestionamentos ou outros incidentes de trânsito, três estratégias de gestão de tráfego se destacam: monitoramento, informações ao usuário e gestão de incidentes. Essas estratégias são detalhadas no Quadro 6.5.

Quadro 6.5: Estratégias de gestão de tráfego

Estratégia	Considerações
Monitoramento	<p>Em algumas rodovias de múltiplas faixas nos EUA é realizado o controle de acessos nas alças da rodovia, mediante o emprego de semáforos de duas luzes (verde/vermelho), o qual libera, um a um, a entrada dos veículos na rodovia. Esse controle de acesso tem como objetivo liberar o tráfego à corrente principal (rodovia) pouco a pouco, evitando que ocorram “turbulências” na via principal. Com a implantação dessa medida, foram observadas reduções de 20 a 50% da ocorrência de acidentes relacionados a convergências rodoviárias.</p> <p>Intervenções como Limites de Velocidade Variável (VLS)¹⁴ foram aplicadas em algumas regiões da Europa e, também, apresentam resultados positivos como medida de monitoramento.</p> <p>Um ponto importante para a aplicação de medidas de monitoramento é o uso de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) para alimentar os modelos com dados confiáveis em tempo real.</p>
Informação ao usuário	<p>Essa estratégia é utilizada para alertar os motoristas que trafegam nas rodovias — ou aqueles que pretendem acessá-las — indicando em tempo real as condições de fluidez de tráfego, condições climáticas e outras condições da própria via, como zonas de obras. Para isso, painéis de mensagens variáveis (PMVs) e rádio são comumente utilizados e, mais recentemente, aplicativos para smartphones também têm sido empregados. O fator chave para a aceitação e o uso dos sistemas de informação por parte dos usuários é a credibilidade e utilidade das informações fornecidas, e isto é possibilitado pela coleta e divulgação de informações precisas e atualizadas.</p>
Gestão de incidentes	<p>Incidentes de trânsito são eventos aleatórios, como veículos parados (inclusive em congestionamentos) ou obstáculos na via, que podem prejudicar a capacidade ou a mobilidade. Quando o volume de tráfego se aproxima da capacidade da via, ocorrem congestionamentos. Os impactos desse tipo de incidente podem ser muito maiores que apenas atraso na viagem: a lentidão pode gerar acidentes devido à diferença de velocidade com o fluxo à montante e os riscos são ainda maiores em condições de visibilidade reduzida.</p> <p>A gestão de incidentes, em termos gerais, é uma abordagem sistemática e coordenada, aplicada para reduzir o tempo necessário para: detectar um incidente, iniciar a resposta, limpar a área e gerir o tráfego (até uma situação de normalidade ser reestabelecida). Para isso, é essencial implementar um centro de controle operacional (CCO) responsável por gerir a rodovia. A gestão de incidentes deve ser interdepartamental incluindo polícia, bombeiros e pessoal de manutenção da rodovia.</p>

Fonte: elaborado pelo autor

¹⁴ Em inglês, *Variable Speed Limit*.

6.7 Efeito das soluções de engenharia na Segurança Viária

Ao longo do Capítulo foram apresentados conceitos e práticas de engenharia que, se levados em consideração na elaboração de projetos e na operação de rodovias, têm a capacidade de melhorar a Segurança Viária e gerar grandes melhorias sociais, independentemente da mudança na conduta dos usuários do sistema viário.

Comparados com programas de educação e fiscalização, os investimentos em engenharia apresentam duas grandes vantagens: (i) os resultados são imediatos e verificáveis, podendo ser atribuídos diretamente às medidas implementadas; e (ii) embora as contramedidas de engenharia tenham custos elevados, os resultados tendem a ser mais duradouros e menos dependentes do investimento contínuo de recursos [26]. Nesse contexto, as intervenções de engenharia geralmente apresentam índices de benefício-custo elevados, onde a recuperação total do valor social investido é alcançada em pouco tempo após a implantação de um projeto de melhoria no sistema viário.

O papel da engenharia de Segurança Viária é elaborar padrões de projeto que auxiliem na construção e operação de vias seguras, utilizando conceitos, materiais, dispositivos e tecnologias que evitem a ocorrência de acidentes ou sejam capazes de reduzir a severidade dos acidentes, caso ocorram. Os engenheiros e projetistas devem analisar e diagnosticar problemas da rodovia e desenvolver soluções que os elimine, considerando as especificidades de cada situação. Da mesma forma, devem combinar métodos de engenharia de projeto e de engenharia de tráfego com a compreensão dos fatores humanos (incluindo as interações entre diferentes modos de transporte, como veículos motorizados leves e pesados, pedestres e ciclistas), como forma de atender às necessidades de cada local [15].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] World Road Association (PIARC). **Road Safety Manual: A Guide for Practitioners!**. França, 2019
- [2] Confederação Nacional do Transporte (CNT). Rodovias que perdoam. **Transporte em foco**, mar. 2021. Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/5d10ad26-e26e-4979-9092-024503d49dfc.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022
- [3] Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), International Transport Forum (ITF). **Zero Road Safety Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System**. Paris, 2016. doi: 10.1787/9789282108055-en
- [4] WELLE, Ben et al. **Sustentável e Seguro: Visão e Diretrizes para Zerar as Mortes no Trânsito**. World Resources Institute (WRI). Brasil, 2018. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/sustentavel-e-seguro-visao-e-diretrizes-para-zerar-mortes-no-transito>. Acesso em: 12 nov. 2020
- [5] BELIN, M.A.; TILLGREN, P.; VEDUNG, E. Vision Zero: a road safety policy innovation. **International Journal of Injury Control and Safety Promotion**, v.19, n. 2, p. 171-179. 2012
- [6] AUSTRÁLIA, Austroads. **Guide to Road Safety Part 1: Introduction and The Safe System**. Sydney, Austrália, 2021. Disponível em: <https://austroads.com.au/publications/road-safety/ags01>. Acesso em: 31 out. 2022
- [7] AUSTRÁLIA, Department of Transport and Main Roads. **Safer roads, Safer Queensland: Queensland's Road Safety Strategy 2015-21**. The State of Queensland, Australia, 2015
- [8] WEIJERMARS, Wendy; WEGMAN, Fred. Ten Years of Sustainable Safety in the Netherlands: An Assessment. **Transportation Research Record**, Washington, D.C., v. 2213, n. 1, p. 1-8, jan. 2011
- [9] Organização Mundial da Saúde (OMS). **Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020**. Geneva, Suíça, 2010. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2011-2020>. Acesso em: 23 set. 2022
- [10] BELIN, M.A. Toward Zero Vision in Lithuania. **Presentation to the Swedish Transport Administration Vision Zero Academy**. Lituânia, 10 set. 2015. Disponível em: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-09/matts-ake_belin.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022
- [11] HERBEL, Susan; LAING, Lorrie; MCGOVERN, Colleen. **Highway Safety Improvement Program (HSIP) Manual**. Federal Highway Administration, Department of Transportation. Cambridge, MA, Estados Unidos, 2010
- [12] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Instrução de Projeto: Projeto Geométrico (IP-DE-F00/001)**. São Paulo, Brasil, fev. 2005

- [13] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Instrução de Projeto: Notas técnicas de Projeto Geométrico (NT-DE-F00/001)**. São Paulo, Brasil, ago. 2006
- [14] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. 7ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2018
- [15] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Rio de Janeiro, Brasil, 2010
- [16] ÁFRICA, African Development Bank; Transport and ICT Department (OITC). **Road Safety Manuals for Africa: New Roads and Schemes: Road Safety Audit**. Tunísia-Belvedere, África, 2014
- [17] NETO, Waldemiro de Aquino Pereira; WIDMER, João Alexandre. Compatibilidade das faixas de mudança de velocidade para o tráfego de veículos pesados em rodovias brasileiras. **TRANSPORTES**, v. 16, n. 2, p. 32–40. dez. 2008
- [18] FITZPATRICK, Kay. **Evaluation of Design Consistency Methods for Two-Lane Rural Highways, Executive Summary**. Federal Highway Administration, Department of Transportation. Estados Unidos, 2000
- [19] Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) FAQs: IHSDM and Highway Safety Manual (HSM). **U.S. Department of Transportation; Federal Highway Administration**. 04 jan. 2023. Disponível em: <https://highways.dot.gov/research/safety/interactive-highway-safety-design-model/software-hsm-faqs>. Acesso em: 07 jun 2023
- [20] THEEUWES, Jan. Self-explaining roads: What does visual cognition tell us about designing safer roads? **Cognitive research: principles and implications**, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2021
- [21] JUREWICZ, Chris et al. **Road Geometry Study for Improved Rural Safety**. Austroads LTD, Austrália, 2015
- [22] Organização Pan-americana da Saúde, Organização Mundial da Saúde (Escritório Regional para as Américas). **Salvar VIDAS - Pacote de medidas técnicas para a segurança no trânsito**. Brasília, D.F., Brasil, 2018
- [23] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Safety Manual**. 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2010
- [24] GARBER, Nicholas J. et al. **The Safety Impacts of Differential Speed Limits on Rural Interstate Highways**. Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration, Department of Transportation. Estados Unidos, 2005
- [25] Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), International Transport Forum (ITF). **Speed and Crash Risk**. 2018
- [26] ELVIK, Rune et al. **The Handbook of Road Safety Measures**. 2ª edição. Reino Unido, 2009
- [27] ESTADOS UNIDOS, Transportation Research Board. **Highway Capacity Manual**. Washington, D.C., Estados Unidos, 2000

CAPÍTULO



PROJETO SEGURO DE RODOVIAS

Conforme introduzido no “Capítulo 6 — Diretrizes para Projeto Seguro de Rodovias”, uma abordagem de projeto de rodovias que incorpora elementos de Segurança Viária tem potencial para evitar a ocorrência de acidentes ou caso eles ocorram, de reduzir suas consequências.

Diversos elementos influenciam a Segurança Viária, como velocidade, geometria da via, características do entorno, quantidade de acessos, tipos de interseções, características do pavimento, sinalização e iluminação. Para cada elemento, existem critérios de projeto cuja função é estabelecer valores de referência, os quais podem ser apresentados como níveis mínimos ou máximos, ou valores recomendados, a fim de orientar a elaboração dos projetos. Padrões mais elevados (critérios mais rigorosos) exigem maiores investimentos, mas podem se provar mais eficientes quanto ao benefício-custo no longo prazo [1].

Neste capítulo, são abordados os elementos de projeto relacionados às características físicas das rodovias, como geometria, pavimentação, drenagem, sinalização e iluminação. Demais elementos de projeto são abordados em outros capítulos deste Manual: considerações sobre a velocidade são apresentadas no “Capítulo 6 — Diretrizes

para Projeto Seguro de Rodovias”; características do entorno da via são apresentadas no “Capítulo 8 — Projeto Seguro das Laterais das Vias”; considerações a respeito da segurança em acessos e interseções são apresentadas no “Capítulo 9 — Interseções e Acessos”; e considerações de segurança em travessias urbanas são apresentadas no “Capítulo 10 — Travessias Urbanas”.

Como exemplificado no “Capítulo 6 — Diretrizes para Projeto Seguro de Rodovias”, tão somente atender aos critérios normativos de projeto não garante um projeto seguro. Para incorporar a Segurança Viária no desenvolvimento de projetos de rodovias é necessário levar em consideração os critérios individuais de cada elemento de projeto e também a forma como esses elementos se inter-relacionam para compor a rodovia como um todo. Na sequência, são apresentadas as melhores práticas nacionais e internacionais adotadas para atender critérios de segurança e compor as características físicas dos projetos de rodovias.

7.1 Configuração geométrica da via

A geometria adequada da via integra uma das principais características do conceito “Rodovias que perdoam”¹. Além de atuar diretamente na Segurança Viária por meio dos elementos de projeto, ela também influencia no comportamento dos motoristas. Uma faixa de rolamento mais larga, por exemplo, proporciona ultrapassagens mais seguras e mais conforto na viagem. Acostamentos mais amplos, por sua vez, proporcionam áreas de recuperação e permitem paradas mais seguras. A combinação entre os alinhamentos horizontal e vertical também é um exemplo de como a geometria pode influenciar a Segurança Viária: um trecho em tangente com curvas verticais sequenciais pode causar áreas de baixa visibilidade, tornando as ultrapassagens inseguras.

Neste capítulo são apresentados os elementos de projeto geométrico capazes de influenciar a Segurança Viária, como largura das faixas de rolamento e dos acostamentos, distâncias de visibilidade, declividade transversal, greide (declividade longitudinal),

¹ Conceito abordado com mais detalhes no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias”.

superelevação², superlargura, entre outros. Para efeitos de organização, esses elementos são apresentados em seis tópicos: (i) alinhamento horizontal, (ii) alinhamento vertical, (iii) coordenação entre alinhamentos horizontal e vertical, (iv) declividade transversal, (v) distância de visibilidade e (vi) largura das faixas de rolamento e dos acostamentos.

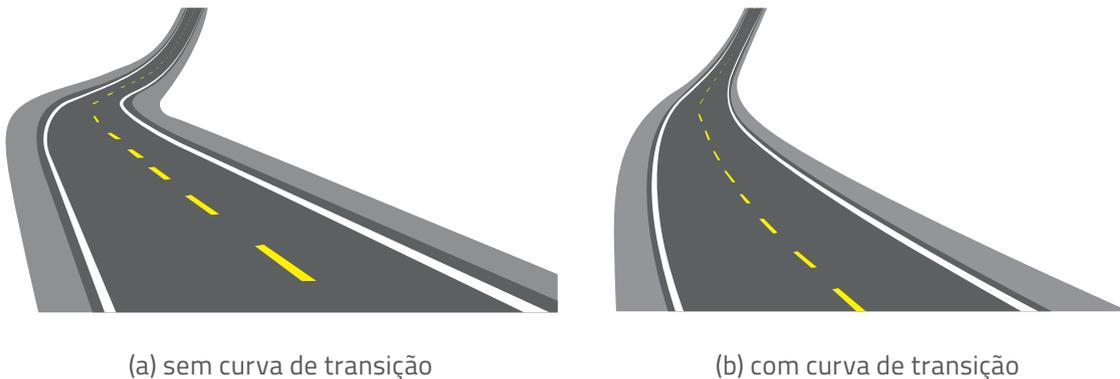
As características de projeto das laterais das vias relacionadas à segurança, como zonas livres laterais, são abordadas no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”. Vale ressaltar, contudo, a necessidade de garantir uma plataforma com largura adequada para permitir a implantação dos dispositivos de contenção viária.

7.1.1 Alinhamento horizontal

O projeto de alinhamento horizontal de uma rodovia é compreendido pelas tangentes (segmentos em reta) e pelas curvas horizontais e de concordância, desenvolvidas no eixo da via em planta. Segmentos em tangente devem ser coordenados da melhor forma possível por meio das curvas, visando proporcionar suavidade ao traçado. Para tanto, as curvas podem ser circulares (com raio constante) ou de transição (com o emprego de segmentos em espiral antes e depois da curva circular).

Do ponto de vista da continuidade, tangentes e curvas podem apresentar grandes problemas quando combinadas. Contudo, o emprego de curvas de transição em espiral fornece traçados mais suaves, seguros e confortáveis, pois se adequam melhor ao movimento efetivamente realizado pelos veículos. A variação gradual do raio permite a adaptação da velocidade e da dirigibilidade e favorece uma mudança uniforme na aceleração centrífuga, conforme os veículos entram e saem da seção circular da curva. A Figura 7.1 ilustra o efeito da curva de transição em espiral no traçado.

² Superelevação é a declividade transversal aplicada nos trechos em curvas, com o objetivo de contrabalançar o efeito da aceleração centrífuga [1]. Assim, permite que não haja grandes diferenças de velocidade entre trechos em tangentes e curvos.

Figura 7.1: Efeito da curva espiral de transição no traçado

(a) sem curva de transição

(b) com curva de transição

Fonte: elaborado pelo autor com base em [2]

As curvas de transição apresentam diversas vantagens, entre elas, aumentar o conforto ao dirigir, minimizar conflitos laterais, tornar as velocidades mais uniformes, facilitar o escoamento de água na zona de transição da superelevação, melhorar a aparência da rodovia (eliminando quebras de continuidade no início e fim das curvas circulares) e facilitar a transição da largura quando a seção é alargada em torno de uma curva circular (superlargura). A tendência dos veículos de invadirem faixas adjacentes também diminui, uma vez que o trecho em espiral proporciona suavidade ao traçado, eliminando quebras de continuidade entre as tangentes e as curvas circulares, especialmente nas curvas de raio pequeno. Nesse contexto, curvas de transição são elementos de grande importância em projetos seguros de rodovias.

Em décadas anteriores, curvas compostas sem transição costumavam ser empregadas devido à facilidade de execução com a tecnologia existente [3], especialmente em terrenos montanhosos. Esse tipo de curva consiste em curvas circulares consecutivas de raios diferentes que giram na mesma direção, com um ponto tangente comum. Contudo, a variação súbita de raios pode surpreender os motoristas e aumentar o risco de erros, e conseqüentemente, a ocorrência de acidentes. Assim, esse tipo de curva não deve ser empregado em novos projetos rodoviários e, no caso de projetos de melhorias ou duplicação, deve ser substituído por substituídas por uma única curva circular ou por curvas espirais de transição.

Trechos excessivamente longos em tangente devem ser evitados, pois apresentam rigidez geométrica e pouca adaptabilidade às diversas formas de paisagem. Esse

tipo de segmento pode se tornar perigoso ao fornecer extensão em tangente que convida ao excesso de velocidade, causa monotonia, leva o motorista cansado ao sono e favorece o ofuscamento à noite [2].

Por outro lado, tangentes muito curtas nem sempre são capazes de fornecer separação suficiente entre curvas consecutivas para possibilitar uma taxa desejável de rotação do pavimento. Além disso, podem prejudicar a visibilidade e a legibilidade do traçado, afetando a expectativa dos motoristas e causando desconforto na tarefa de dirigir. Dessa forma, tangentes muito curtas também devem ser evitadas.

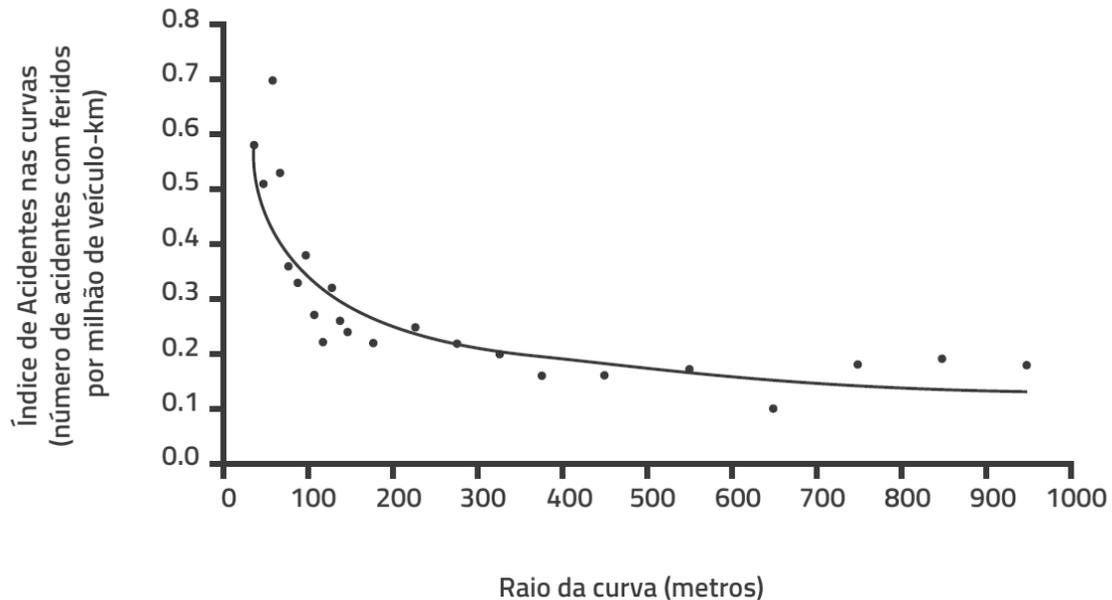
De acordo com dados de acidentalidade, trechos em curva apresentam índices de acidente da ordem de 1,5 a 4 vezes maiores do que trechos em tangente com mesmo volume e composição de tráfego. Acidentes em curvas também costumam ser mais severos: entre 25% e 30% dos acidentes fatais ocorrem em curvas. Isso porque aproximadamente 60% dos acidentes em curvas horizontais ocorrem com veículos que saem da rodovia [1].

As curvas de transição em espiral reduzem os índices de acidentes entre 8% e 25% em rodovias com padrão elevado de projeto. É importante ressaltar, entretanto, que curvas espirais muito longas devem ser evitadas, pois podem dificultar a percepção visual da curva e contribuir para problemas de drenagem³ [1].

Acidentes em curvas são influenciados tanto pelas características físicas da curva (raio, ângulo central, atrito, superelevação, largura das faixas e dos acostamentos etc.) como pelas características de alinhamento do trecho retilíneo adjacente (comprimento da tangente anterior à curva e curvatura média da via⁴) [1]. A frequência de acidentes aumenta exponencialmente conforme as curvas tornam-se restritivas, ou seja, conforme o raio diminui. O Gráfico 7.1, retirado de um estudo feito na Noruega, apresenta a relação entre os índices de acidentes em curvas horizontais e os respectivos raios [4]. Observa-se que uma redução no raio resulta em um aumento na ocorrência de acidentes, e que este aumento é mais significativo quanto menor for o raio.

³ Recomendações de segurança com relação a drenagem são apresentadas no item “7.3 — Drenagem”.

⁴ A curvatura média da via é determinada em graus por quilômetro, sendo calculada pela soma dos ângulos centrais das curvas que compõem a rodovia (em graus), dividida pelo comprimento do segmento (em quilômetros) [1].

Gráfico 7.1: Índice de acidentes em função do raio da curva

Fonte: [4]

Raios mínimos de curvatura horizontal são parâmetros que correspondem aos menores valores de raio que podem ser percorridos em condições aceitáveis de segurança e conforto. Esses valores são diretamente proporcionais ao quadrado da velocidade de projeto⁵ e variam de acordo com os valores máximos admissíveis para a superelevação e para o coeficiente de atrito lateral pneu-pavimento. [2]

Um projeto seguro deve evitar curvas de raio inferior ao adequado para uma determinada velocidade de projeto. Quanto maior a redução de velocidade requerida pela curva, maior a probabilidade de erro do motorista e da ocorrência de acidentes, principalmente relativos a derrapagens, saídas da rodovia, invasão de faixa adjacente ou oposta e colisões traseiras devido à frenagem na aproximação da curva. O risco é ainda maior quando a redução de velocidade é inesperada ou pouco comum, como em curvas isoladas com raios pequenos.

⁵ Conforme definido no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias”, a velocidade de projeto refere-se à velocidade máxima com a qual um determinado trecho pode ser percorrido em segurança em condições de fluxo livre. É a velocidade selecionada como base para determinar os demais elementos de projeto.

Nesse sentido, outro fator que influencia a ocorrência de acidentes é a quantidade de curvas. Os motoristas têm suas expectativas afetadas pelo número de curvas por quilômetro. Assim, curvas isoladas apresentam índices de acidentes maiores do que curvas já esperadas pelos motoristas.

A densidade de curvas em um segmento é influenciada pelo tipo de terreno em que a rodovia se encontra. Em terrenos montanhosos, é comum a incidência de curvas com raios menores. Já em regiões planas, as tangentes longas e curvas com raios maiores são mais frequentes. A transição entre diferentes tipos de relevo pressupõe mudanças nos padrões de alinhamento horizontal. Essas mudanças quebram a expectativa do motorista e podem representar um fator de risco para a ocorrência de acidentes.

Dessa forma, é desejável que a geometria anuncie as alterações no padrão da via gradualmente, e não de forma abrupta, garantindo que o motorista seja capaz de se adaptar às mudanças, principalmente com relação à velocidade operacional. Além disso, é importante utilizar as sinalizações horizontal e vertical de advertência para informar aos usuários sobre a necessidade de reforçar a atenção diante de possíveis alterações no padrão da via.

A seguir, são listadas algumas recomendações gerais de projeto relacionadas ao que foi destacado anteriormente a respeito do alinhamento horizontal [2], [5], [6]:

- tangentes longas⁶ devem ser evitadas, a menos que estejam localizadas em regiões muito planas ou vales onde se encaixem naturalmente com a paisagem existente. Entretanto, no caso específico de rodovias de pista simples, é necessário que o traçado ofereça condições de visibilidade que permitam ultrapassagens ao longo de boa parte da rodovia, o que implica em adotar trechos retilíneos (em tangente) relativamente extensos;
- quando houver mudança da velocidade de projeto, é desejável que a geometria anuncie a alteração de padrão, de modo que a transição de velocidade ocorra gradualmente e não de forma abrupta;
- curvas circulares devem ser dotadas de curvas de transição em espiral, com extensão suficiente para acomodar a variação da declividade da pista

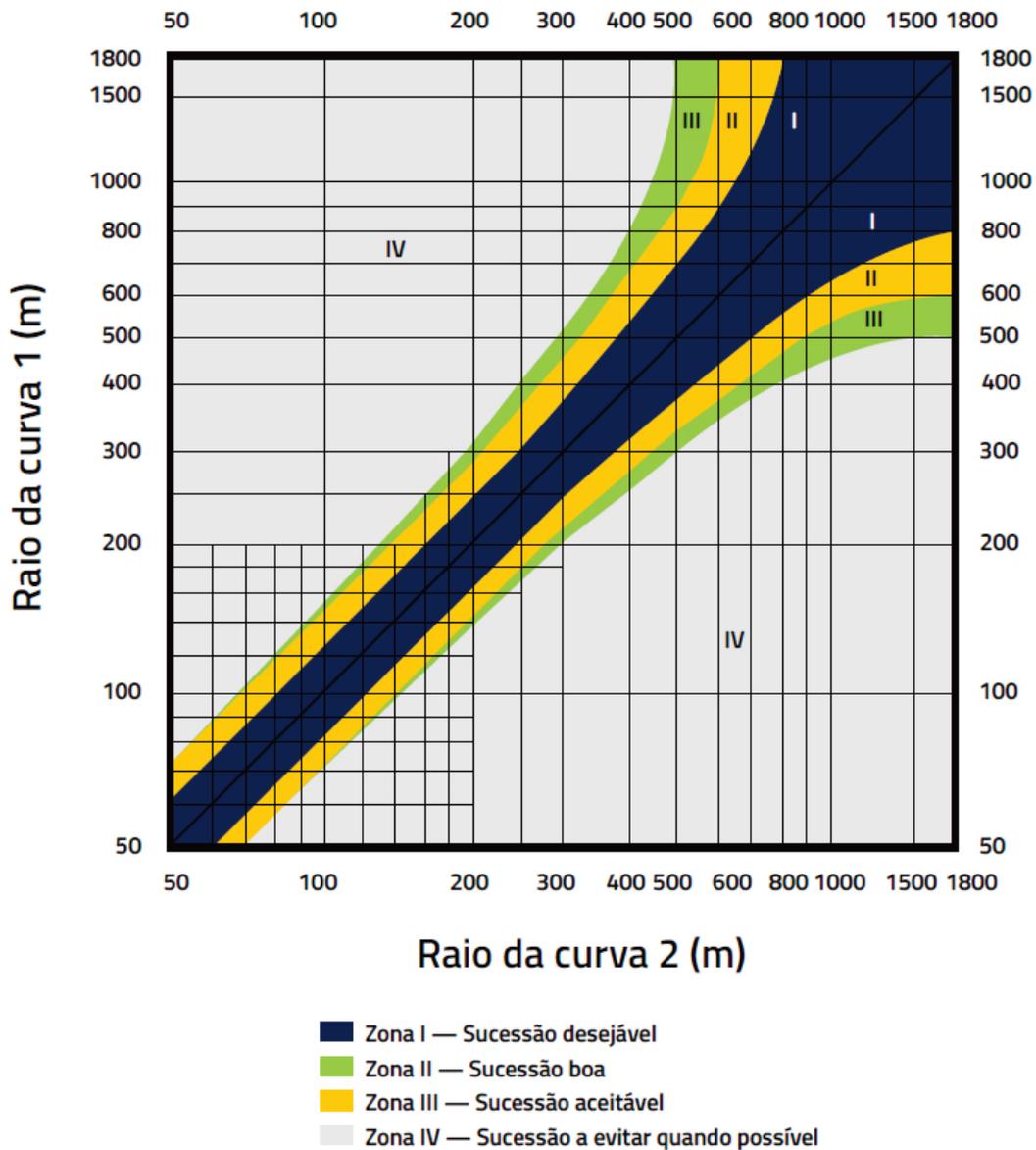
⁶ A definição da extensão a partir da qual uma tangente é considerada longa depende da velocidade operacional prevista [6]. Normas internacionais consideram que tangentes longas ocorrem a partir de 1.000 m [5].

devido à superelevação, para facilitar a dirigibilidade, melhorar o conforto e permitir condições operacionais favoráveis;

- curvas devem ser projetadas de acordo com a velocidade diretriz, com apoio de superelevação e superlargura;
- curvas dotadas de raios muito grandes (por exemplo, $R > 5.000$ m) devem ser evitadas, pois apresentam um desenvolvimento longo que prejudica a dirigibilidade devido às distâncias muito grandes a serem percorridas pelos veículos [2];
- curvas espirais muito longas devem ser evitadas, pois podem dificultar a percepção visual da curva e contribuir para problemas de drenagem;
- deve-se evitar a utilização do raio mínimo de curvatura para uma dada velocidade de projeto, restringindo-se apenas aos casos em que outras limitações impeçam a adoção de raios superiores;
- nos casos em que curvas de raios pequenos são inevitáveis, é desejável que curvas de raios sucessivamente menores sejam introduzidas, de forma que a curvatura mais acentuada não se apresente ao motorista de forma abrupta;
- no caso de curvas com ângulos centrais pequenos, o desenvolvimento das curvas deve ser suficiente para evitar a aparência de quebra no alinhamento;
- curvas acentuadas, nos casos em que as opções de alinhamentos são restritas, devem ser acompanhadas de medidas de segurança, como redução de velocidade, sinalização vertical de advertência, instalação de dispositivos de contenção lateral etc.
- curvas reversas dotadas de curvas de transição em espiral devem ter suas extremidades coincidentes;
- curvas reversas separadas por tangente devem respeitar o comprimento mínimo da tangente intermediária para permitir a transição da superelevação;
- caso sejam necessárias curvas sucessivas na mesma direção, deve-se avaliar a possibilidade de substituí-las por uma curva única, de maior desenvolvimento;
- curvas sucessivas devem estar inter-relacionadas, para evitar variações abruptas de curvatura. O Gráfico 7.2 indica as diferenças desejáveis,

aceitáveis e as diferenças que devem ser evitadas entre raios de curvas sucessivas. Nota-se que raios sucessivos desejáveis são aqueles que apresentam valores próximos. Vale destacar que para raios de curvas maiores que 700 m, quanto maior o raio de uma curva, maior a diferença aceitável entre os raios das curvas sucessivas.

Gráfico 7.2: Critérios desejáveis para orientar a escolha dos raios de curvas sucessivas



Fonte: elaborado pelo autor com base em [2]

7.1.2 Alinhamento vertical

O projeto do alinhamento vertical de uma rodovia é composto por tangentes (rampas ascendentes e descendentes) e curvas verticais de concordância (concavas ou convexas), desenvolvidas no eixo da via em perfil (greide). Um alinhamento vertical bem projetado considera mudanças graduais e contínuas no perfil longitudinal, evitando ou minimizando surpresas aos motoristas, além de possibilitar uma viagem confortável e esteticamente agradável. Também apresenta benefícios para a Segurança Viária ao permitir longas distâncias de visibilidade e melhorar a legibilidade da via.

Observa-se que em trechos com rampa acentuada a ocorrência de acidentes se mostra maior do que em trechos em nível, devido ao desempenho de veículos pesados, sendo esse um aspecto importante a ser considerado no desenvolvimento de um projeto seguro de rodovia. Rampas longas e greides elevados provocam perda da capacidade de aceleração e frenagem dos veículos pesados, resultando em um aumento da velocidade em rampas descendentes e na desaceleração em rampas ascendentes. Com isso, verifica-se uma maior diferença entre as velocidades de veículos leves e pesados, o que pode causar aumento na ocorrência de acidentes.

A frequência e a severidade de acidentes são maiores em descidas do que em subidas. Declives acentuados expõem o veículo ao aumento de velocidade e exigem o uso permanente dos freios, podendo ocasionar falhas nos freios dos veículos pesados. Dessa forma, em trechos descendentes longos com greides elevados e tráfego considerável de veículos pesados, é recomendada a utilização de rampas de escape⁷.

No caso de rampas ascendentes, a maior velocidade que pode ser mantida por um veículo pesado depende do comprimento e grau de declividade do greide, além da relação peso/potência do veículo [1]. Portanto, rampas ascendentes devem ser projetadas considerando os comprimentos críticos de rampa, ou seja, respeitando o máximo comprimento de uma rampa ascendente para determinado greide na qual um veículo pesado é capaz de operar sem perda excessiva de velocidade.

Quando o comprimento da rampa ultrapassa o comprimento crítico e o tráfego de veículos pesados é elevado, a capacidade da via pode ser prejudicada devido à redução

⁷ Este tema é abordado com mais detalhes no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”.

de velocidade experimentada por esses veículos nas rampas. Nessas condições, é desejável a utilização de faixas adicionais em aclives, especialmente em vias com elevado volume de tráfego, para facilitar ultrapassagens e garantir que a rodovia opere com nível de serviço adequado.

O dimensionamento das faixas adicionais em rampas merece atenção especial. Primeiramente, os pontos de início e término da faixa adicional devem ser claramente visíveis para os motoristas. O ponto de início da faixa adicional depende da velocidade com que o veículo pesado se aproxima da rampa e das restrições de visibilidade na aproximação, sendo recomendado o ponto limite quando os veículos pesados apresentarem uma perda de 15 km/h na velocidade praticada [7].

A localização do término da faixa adicional de ultrapassagem, por sua vez, é o componente mais crítico do projeto [5]. O trecho final da faixa deve garantir distância de visibilidade suficiente para que o motorista decida se a manobra de ultrapassagem deve ser finalizada ou abandonada. É desejável, também, que o trecho final atue como uma faixa de aceleração, para que os veículos pesados possam recuperar parte da velocidade antes de retornar à faixa principal. Para isso, a faixa adicional deve se estender além da crista da curva vertical, de tal forma que a diferença de velocidade entre veículos leves e pesados seja de, no máximo, 15 km/h [2]. Recomenda-se que o ponto de término da faixa adicional esteja localizado em uma reta ou em uma descida, e que seja previsto um *taper* de comprimento adequado no início e no término da faixa adicional, para permitir o deslocamento lateral dos veículos que mudam de faixa [2], [5].

As declividades máximas das rampas devem ser estabelecidas em função da classe funcional da via, da velocidade de projeto e do tipo de ocupação no entorno. Os greides mínimos devem ser estabelecidos de modo a evitar o acúmulo de água na pista e minimizar o risco de aquaplanagem, assumindo o valor de 0,5%, nos casos usuais. Valores de até 0,35% são admissíveis em pavimentos com textura de alta qualidade [6].

Curvas verticais têm a função de realizar a concordância entre rampas, promovendo a transição gradual entre rampas de inclinações distintas e resultando em um projeto que ofereça operação segura e confortável, aparência agradável e condições adequadas de drenagem. Quando a diferença algébrica entre as rampas for inferior a 0,5%, pode-se dispensar a utilização das curvas verticais [8].

As curvas verticais devem proporcionar condições de visibilidade adequadas ao longo de todo o seu desenvolvimento. A distância de visibilidade, especialmente a distância de visibilidade de parada (DVP)⁸ é, portanto, o parâmetro condicionante para a fixação do comprimento mínimo das curvas verticais. Esse valor é determinado em função da velocidade de projeto e da diferença entre greides, tanto para curvas verticais côncavas como para curvas verticais convexas [6].

De modo geral, os principais elementos que devem ser considerados na análise de segurança do alinhamento vertical são [1]:

- nas descidas: aumento da velocidade e das distâncias de frenagem, além da possibilidade de falha dos freios dos veículos pesados;
- nas subidas: diferenças de velocidade entre veículos leves e veículos pesados;
- em curvas verticais convexas: distâncias de visibilidade restritas;
- em curvas verticais côncavas: acúmulo de água e distância de visibilidade noturna.

A seguir, destacam-se recomendações gerais de projeto a respeito do alinhamento vertical relacionadas ao que foi exposto anteriormente [6]:

- frequentes alterações de rampa devem ser evitadas, pois além de quebrar as expectativas dos motoristas, prejudicam a visibilidade e o conforto. É desejável uma linha de greide suave, com mudanças graduais e tão contínuas quanto possível, garantindo melhor fluidez do tráfego;
- deve-se evitar alinhamento vertical ondulado. A sucessão de lombadas e depressões pode limitar a visibilidade, uma vez que veículos em pontos baixos ficam ocultos, criando situações problemáticas do ponto de vista de segurança;
- em vias de baixa velocidade, pode-se intercalar rampas íngremes com rampas mais suaves, ao invés de dispor de rampa contínua com greide intermediário;

⁸ Este tema é abordado com mais detalhes no item “7.1.5 — Distância de visibilidade”.

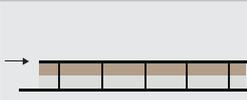
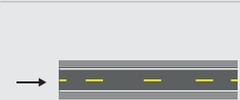
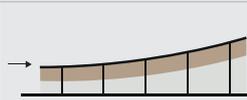
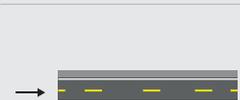
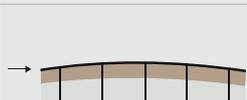
- em trechos longos em rampa, é desejável dispor as rampas mais íngremes na parte inferior e as mais suaves na parte superior, de modo a tirar proveito do impulso acumulado nos segmentos planos ou descendentes anteriores à subida;
- trechos extensos e sem curvas verticais devem ser analisados do ponto de vista das condições operacionais decorrentes, para desencorajar velocidades excessivas;
- curvas verticais em um mesmo sentido, separadas por um curto trecho em tangente, devem ser evitadas, especialmente curvas côncavas e em rodovias duplicadas;
- curvas verticais côncavas em trechos de corte devem ser evitadas, a menos que seja possível garantir condições de drenagem adequada.

7.1.3 *Coordenação entre os alinhamentos horizontal e vertical*

Os alinhamentos horizontal e vertical estão entre os mais importantes elementos de projeto da rodovia e devem ser projetados seguindo as recomendações de segurança apresentadas nos itens "7.1.1 — Alinhamento horizontal" e "7.1.2 — Alinhamento vertical". Contudo, quando o projeto geométrico é pensado separadamente em planta e perfil, combinações inadequadas desses dois elementos podem ocorrer, afetando a estética, a eficiência operacional, o conforto e, especialmente, a segurança da via. A falta de coordenação entre os alinhamentos pode, ainda, agravar eventuais deficiências ou mesmo anular aspectos favoráveis de um ou de outro [2]. Assim, os alinhamentos horizontal e vertical devem estar em harmonia, e o estudo em conjunto dos traçados deve ser realizada a partir do elemento tridimensional do projeto geométrico.

A Figura 7.2 ilustra a diferença ao se analisar os alinhamentos de forma isolada e a concepção dos alinhamentos no elemento tridimensional. Nota-se que na análise tridimensional é possível visualizar a perspectiva do motorista ao trafegar na via, o que não é considerado na análise isolada dos elementos.

Figura 7.2: Elementos de projeto tridimensionais resultantes da sobreposição de tangentes e curvas

Elemento de Projeto em planta	Elemento de Projeto em perfil	Elemento de projeto tridimensional
 Tangente	 Tangente	 Tangente com declividade longitudinal constante
 Tangente	 Curva	 Curva vertical côncava em tangente horizontal
 Tangente	 Curva	 Curva vertical convexa em tangente horizontal
 Curva	 Tangente	 Curva horizontal com declividade longitudinal constante
 Curva	 Curva	 Curva vertical côncava em trecho curvo
 Curva	 Curva	 Curva vertical convexa em trecho curvo

Fonte: elaborado pelo autor com base em [8]

Na sequência, são apresentadas três situações onde a falta de coordenação entre os alinhamentos pode gerar problemas de Segurança Viária:

- (i) incompatibilidade entre o traçado e a topografia;
- (ii) existência de pontos sombreados (pontos cegos) causados por mergulhos ou ondulações em trechos em tangente;

- (iii) dissociação entre o traçado em planta e em perfil, que pode ocorrer a partir de diferentes combinações de traçado e cria uma quebra de continuidade visual, prejudicando a legibilidade da via.

A situação (i) destaca a incompatibilidade entre o traçado e o tipo de terreno. O traçado de uma via depende fundamentalmente do relevo local e deve ser projetado de forma que se possa superar as limitações do meio físico e garantir segurança e conforto aos usuários. Além disso, os alinhamentos horizontal e vertical devem garantir declividades suaves combinadas com curvas horizontais suaves, enquanto greides íngremes devem ser coordenados com curvas horizontais mais restritas.

Dessa forma, regiões com relevo plano ou ondulado devem apresentar um traçado com curvas horizontais e verticais suaves, o que permite uma boa distância de visibilidade ao projeto. Por outro lado, regiões com relevo acidentado podem exigir o emprego de curvas restritas para proporcionar um maior desenvolvimento do traçado.

Além disso, regiões de relevo montanhoso requerem grandes movimentações de terra, sendo necessária a análise da Segurança Viária na compensação de corte e aterro, inclusive nas laterais da via. A presença de um talude de corte próximo à plataforma, por exemplo, pode prejudicar a visibilidade em curvas, ocasionando pontos cegos. Assim, é recomendado ter atenção ao realizar a terraplenagem na zona livre lateral da via⁹.

Projetos de rodovias devem pensar em soluções para a preservação ambiental, especialmente a fim de reduzir as movimentações de terra em regiões montanhosas. A construção de túneis, pontes e viadutos podem minimizar o impacto ambiental causado pelas atividades de corte e aterro necessárias nessas regiões.

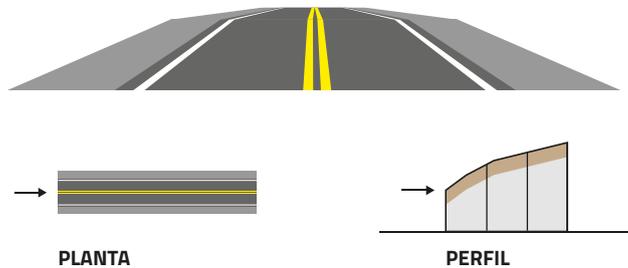
A classe da rodovia também influencia na determinação dos alinhamentos. Rodovias de classes mais altas (como classe 0 e IA), nas quais são esperadas maiores velocidades operacionais e regulamentadas, têm padrão de projeto mais elevado. Nesses casos, mesmo em terrenos montanhosos, os traçados em curva não condizem com raios restritos, especialmente se a curva for isolada, quebrando o padrão estabelecido para a rodovia e surpreendendo o motorista. Já as rodovias de classes mais baixas permitem curvas mais acentuadas em topografia montanhosa.

⁹ Este tema é abordado com mais detalhes no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”.

A Figura 7.3 ilustra uma situação típica de incompatibilidade do traçado da rodovia com o perfil do terreno.

Figura 7.3: Incompatibilidade entre o traçado e a topografia do terreno

CONFIGURAÇÃO INADEQUADA



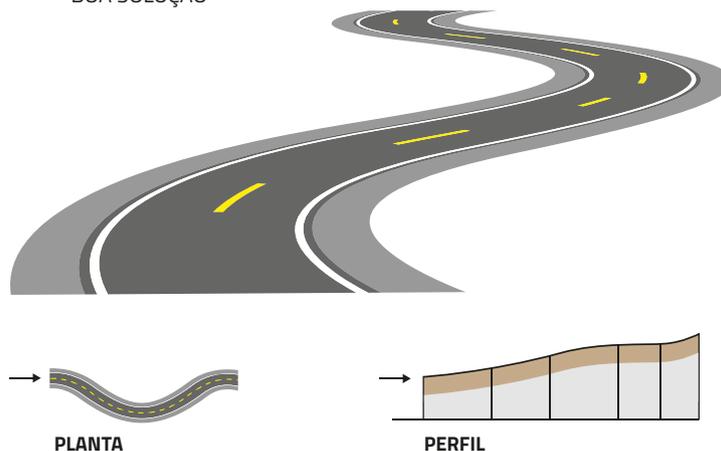
Fonte: elaborado pelo autor com base em [8]

A curva vertical acentuada combinada com uma tangente longa apresenta uma situação de risco, pois, além de ofuscar a linha de visão do motorista sobre a geometria à frente, estimula o desenvolvimento de altas velocidades na descida.

Uma configuração adequada que coordena os alinhamentos horizontal e vertical é apresentada na Figura 7.4. Recomenda-se desenvolver o traçado com curvas horizontais, de modo a suavizar as rampas verticais e adequar o traçado ao perfil do terreno.

Figura 7.4: Boa solução para coordenar os alinhamentos horizontal e vertical, adequando o traçado à topografia do terreno

BOA SOLUÇÃO



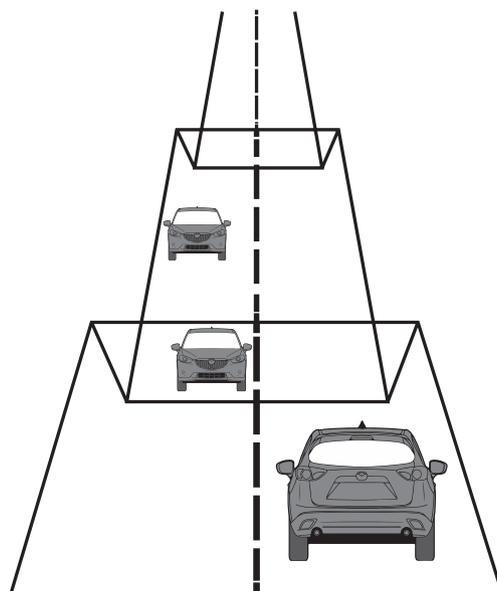
Fonte: elaborado pelo autor com base em [8]

A situação (ii) diz respeito à existência de pontos sombreados causados por pequenas ondulações no greide, especialmente em trechos em tangente. Esse problema costuma ocorrer quando os projetos de alinhamento horizontal e vertical são pensados separadamente.

Nessa situação, os pontos cegos prejudicam a linha de visão do motorista, que não é capaz de reconhecer, com antecedência, os possíveis riscos presentes na via. As manobras de ultrapassagem se tornam mais arriscadas, uma vez que o motorista pode iniciá-la e ser surpreendido por um veículo trafegando no sentido contrário.

Em ondulações mais acentuadas, conforme o veículo se aproxima das depressões, a visibilidade se torna ainda menor. Além disso, as ondulações também prejudicam o conforto do usuário, devido a constantes alterações do greide. Essa situação é apresentada na Figura 7.5.

Figura 7.5: Pontos cegos provocados por pequenas ondulações no greide em trechos em tangente



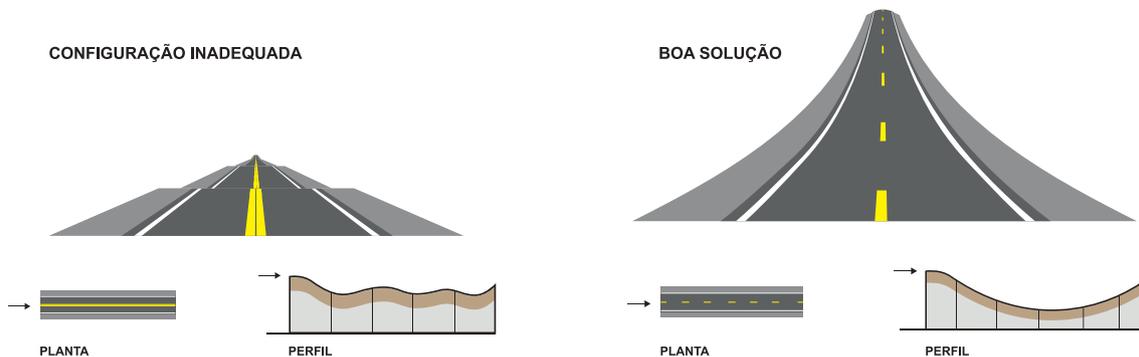
Fonte: elaborado pelo autor com base em [5]

A Figura 7.5 ilustra, na perspectiva do motorista, como os veículos que trafegam no sentido oposto ficam ocultos nas partes mais baixas das ondulações do greide. Para evitar problemas decorrentes de ondulações ou mergulhos, recomenda-se um

alinhamento vertical suavizado, com curvas verticais que garantam uma boa distância de visibilidade de parada (DVP) de acordo com a velocidade de projeto. Essa recomendação deve ser considerada especialmente em trechos em tangente, mas também em trechos de curvas horizontais suaves.

A Figura 7.6 apresenta os alinhamentos horizontal e vertical e a perspectiva do problema gerado por pequenas ondulações no greide (à esquerda) *versus* uma boa prática de projeto seguro a ser adotada para suprimir os pontos sombreados (à direita).

Figura 7.6: Pontos sombreados causados por pequenas ondulações no greide em trechos em tangente: situação inadequada *versus* boa prática



Fonte: elaborado pelo autor com base em [8]

À esquerda, observa-se que as pequenas ondulações no greide em trechos em tangentes não são visíveis na perspectiva do motorista, induzindo-o a acreditar que o alinhamento vertical é constante e o traçado da rodovia está completamente visível, bem como o tráfego no sentido oposto. A figura à direita apresenta uma boa solução de Segurança Viária, em que as oscilações no greide são substituídas por uma única curva vertical suave.

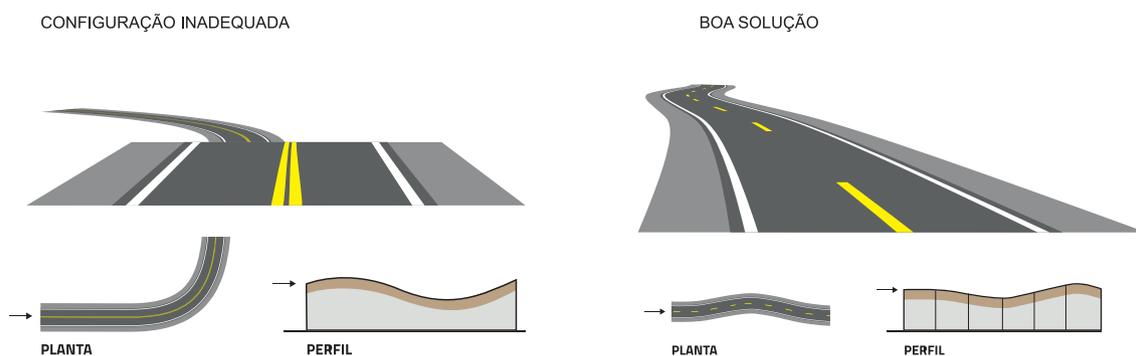
Por fim, a situação (iii) refere-se a quebras visuais que surpreendem o usuário e dificultam a legibilidade da via, causadas pela descoordenação entre os vértices das curvas horizontais e verticais. Essas quebras podem ocorrer a partir de diferentes combinações dos alinhamentos e, geralmente, resultam de uma desconformidade dos traçados em planta e em perfil.

Isso ocorre, por exemplo, na situação ilustrada na Figura 7.7, quando o início de uma curva horizontal não é visível para o motorista devido a existência de uma curva vertical convexa, mas a continuidade do traçado da curva horizontal é visível mais à frente. Nesses casos, a segurança é ainda prejudicada pelas velocidades elevadas com que os veículos entram na curva, alcançadas devido à presença do declive antes do início da curva horizontal. Outro exemplo dessa situação ocorre quando o início de uma curva horizontal está localizado no vértice de uma curva convexa, surpreendendo o motorista e impedindo que ele identifique a curva horizontal com antecedência.

A mudança abrupta nos alinhamentos pode ocasionar quebras visuais que dificultam ainda mais o entendimento da via. Assim, variações no traçado devem ser realizadas de forma gradual e contínua [6]. Além disso, curvas horizontais e verticais coincidentes geram melhor fluência ótica, permitindo ao motorista uma visão clara do traçado e impedindo que ele seja surpreendido.

A Figura 7.7 ilustra o problema de quebra visual causado pela descoordenação entre curvas verticais e horizontais (à esquerda) *versus* uma solução implantada para eliminar a quebra visual e garantir a legibilidade em um projeto seguro (à direita). O problema refere-se à situação de projeto onde o ponto mais baixo do greide de uma curva horizontal não é visível na perspectiva do ponto mais alto do traçado.

Figura 7.7: Quebra visual causada por descoordenação entre os vértices das curvas horizontais e verticais: situação inadequada versus boa prática



Fonte: elaborado pelo autor com base em [8] e [5]

A quebra visual do traçado apresentada à esquerda da Figura 7.7 pode surpreender o motorista com a configuração da rodovia após a curva convexa, impedindo-o de verificar, com antecedência, a inclinação do declive. O início da curva horizontal ocorre

no ponto mais baixo do greide, onde a velocidade praticada pelos veículos costuma ser mais alta. Uma boa prática é compatibilizar as curvas horizontais e verticais para um traçado mais suave, como apresentado à direita da Figura 7.7.

Em vista do que foi apresentado, a análise do elemento tridimensional no projeto geométrico se torna importante, uma vez que pode evitar problemas de segurança ocasionados pela falta de coordenação entre os alinhamentos. Contudo, não é possível determinar um padrão de projeto capaz de garantir coordenação entre os elementos em planta e perfil, aplicável a qualquer situação, visto que rodovias podem apresentar diferentes características, que dependem, inclusive, das regiões em que estão localizadas.

A seguir são listadas recomendações gerais para buscar uma boa coordenação entre os alinhamentos horizontal e vertical, assim como configurações inadequadas que devem ser evitadas [2], [8]:

- trechos em tangente não são coerentes com frequentes alterações bruscas no greide e vice-versa;
- curvas verticais e horizontais superpostas resultam em um traçado geralmente agradável — é recomendado que curvas verticais estejam contidas nas curvas horizontais, com os vértices das tangentes (pontos de interseção vertical) coincidindo quando possível;
- curvas horizontais não devem iniciar ou terminar no ponto mais elevado das curvas verticais convexas para não surpreender o motorista, especialmente no período noturno;
- da mesma forma, curvas horizontais não devem ter início coincidente com pontos baixos do greide, ao final de longas descidas. Essa configuração pode resultar tanto em uma aparência distorcida do traçado, impedindo a percepção da continuidade da curva, como em situações perigosas decorrentes do natural aumento da velocidade nas descidas, especialmente para veículos pesados;
- o traçado em planta deve estar de acordo com o traçado em perfil. Devem ser evitadas as combinações de curvas horizontais de raios restritos com declividades longitudinais suaves e curvas horizontais suaves com greides acentuados;

- em rodovias de pista dupla pode ser vantajoso, em algumas situações, variar a largura do canteiro central para permitir alinhamentos independentes em planta e perfil para as duas pistas. Essa medida é particularmente desejável nos casos de duplicação de pista existente.
- em regiões de relevo ondulado, pode ser utilizada uma curva côncava de amplo desenvolvimento e grande raio de curvatura para atenuar a rigidez do traçado, em favor de uma longa tangente horizontal, observadas as condições de escoamento superficial;
- recomenda-se que o traçado, em planta e perfil, seja projetado de forma integrada a preservação ambiental, harmonizando-o, sempre que possível, com a paisagem natural.

7.1.4 Declividade transversal

Do ponto de vista operacional e de segurança, declividades transversais mais baixas são preferíveis por proporcionarem mais conforto e menor desvio latera. Por outro lado, declividades transversais elevadas são vantajosas para acelerar o escoamento superficial (garantindo boas condições de drenagem) e possibilitar mais conforto em curvas.

Com relação à seção transversal, o segmento da rodovia pode ser projetado de duas formas: coroadado (declividade transversal para ambos os lados) ou com caimento simples. Seções coroadadas são típicas em pistas simples, enquanto seções com caimento simples são mais comuns em pista dupla. Nos casos em que a pista dupla possui seção coroadada, elementos de drenagem devem estar presentes em ambos os lados da via (na região externa e no canteiro central). Contudo, o sistema de drenagem não deve prejudicar a segurança nas laterais das vias, devendo ser seguida a ordem de prioridade de tratamento de obstáculos fixos na zona livre estabelecida no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais da vias”: (i) remover o obstáculo; (ii) redesenhar o obstáculo; (iii) realocar o obstáculo; (iv) reduzir a severidade do impacto; (v) proteger com dispositivo de contenção; e (vi) delinear o obstáculo.

A principal vantagem da seção transversal coroadada está relacionada à capacidade de drenagem, a qual geralmente é maior nesse tipo de seção. Já em seções transversais

com caimento simples, há um maior acúmulo de águas pluviais nas faixas de rolamento de cota mais baixa. O sentido de atuação constante da aceleração transversal é uma vantagem desse tipo de seção, além da simplicidade na execução do pavimento e na concepção da superelevação [2].

A superelevação tem influência na segurança e no conforto da viagem, pois contrabalança a atuação da força centrífuga, permitindo que os veículos trafeguem nas curvas com velocidades mais altas. No entanto, superelevação excessiva pode fazer com que veículos lentos deslizem para a parte interna da curva, caso o coeficiente de atrito entre a pista e os pneus seja muito pequeno.

Além disso, o desenvolvimento da superelevação merece atenção especial. Recomenda-se projetar uma zona de transição entre a tangente e a curva horizontal para a introdução gradual da superelevação. De forma geral, é desejável que a transição da superelevação seja realizada ao longo da espiral de transição. Assim, o comprimento mínimo da curva espiral deve ser adotado a partir do comprimento da transição da superelevação.

Para o desenvolvimento da superelevação, há casos em que pode ser necessário realizar a rotação da superfície do pavimento. Nesse processo, deve-se evitar situações em que toda ou parte da seção transversal situada no plano horizontal (declividade transversal de 0%) coincida com um alinhamento vertical plano (em nível). Isso ocasiona a formação de áreas planas onde pode ocorrer acúmulo de água, o que contribui para a ocorrência de aquaplanagem e resulta em condição de risco. Para evitar a criação de áreas planas, deve-se coordenar o perfil longitudinal com a declividade transversal, garantindo que ou a declividade transversal ou a declividade longitudinal seja mantida ao longo da transição da superelevação [5].

Em vias de múltiplas faixas ou pistas com mais de três faixas por sentido, deve-se atentar à drenagem em curvas com raios longos. Nesses casos, para garantir o escoamento superficial até a borda do pavimento, a água deve percorrer longos caminhos nas faixas de tráfego, podendo gerar lâminas d'água mais espessas na superfície da via, aumentando o risco da ocorrência de acidentes. Dessa forma, para evitar o acúmulo de água, recomenda-se a implementação de revestimentos asfálticos com maior capacidade drenante.

7.1.5 *Distância de visibilidade*

Estima-se que cerca de 90% da informação usada para dirigir é visual. Dessa forma, informações visuais, fornecidas pela rodovia, devem contribuir para facilitar a tarefa de dirigir [1], permitindo que os motoristas sejam capazes de identificar situações de risco e controlar os veículos a tempo, seja para executar manobras com segurança ou para interromper seu movimento [6].

Ao projetar uma rodovia, deve-se assegurar que as configurações geométricas e as características do entorno não causem limitações visuais aos motoristas, garantindo uma distância de visibilidade adequada às características do trecho.

A distância de visibilidade corresponde ao comprimento da via visível ao motorista. De modo geral, na elaboração de um projeto seguro de rodovias deve-se considerar três distâncias de visibilidade:

- distância de visibilidade de parada (DVP);
- distância de visibilidade de tomada de decisão (DVTD, ou distância de visibilidade de decisão — DVD);
- distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU).

A velocidade de projeto e o PRT (Tempo de Percepção e Resposta, em inglês, *Perception-Response (or Reaction) Time*)¹⁰ são os principais fatores que influenciam na determinação das distâncias de visibilidade, especialmente a DVP e a DVTD.

A distância de visibilidade de parada (DVP) é definida como a distância mínima que garante que um veículo médio, em condições razoáveis de manutenção, trafegando a uma determinada velocidade, em condições chuvosas, e em uma rodovia pavimentada (adequadamente conservada), seja capaz de parar ao perceber a existência de um obstáculo ou de uma situação de perigo à sua frente [2]. Dessa forma, toda rodovia deve proporcionar, ao longo de toda sua extensão, uma distância de visibilidade de parada adequada à sua velocidade de projeto.

¹⁰ O conceito do Tempo de Percepção e Resposta (PRT) é explicado no “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”.

A DVP deve ser alcançada por meio do projeto geométrico da rodovia. Existem situações em que as configurações da via e as características do entorno não permitem uma distância de visibilidade compatível com a DVP estabelecida para a velocidade de projeto. Nesses casos, é necessário reduzir a velocidade de projeto de modo que a distância de visibilidade de parada se adeque às características da rodovia e seu entorno. A definição da DVP para determinada velocidade de projeto leva em consideração duas componentes [7]:

- (i) distância de reação: distância percorrida pelo veículo, a partir do momento em que o motorista identifica um objeto ou uma situação de risco (que exige a parada do veículo), até o instante em que os freios são acionados. Essa distância corresponde à distância percorrida no PRT, que usualmente assume o valor de 2,5 segundos na elaboração de projetos;
- (ii) distância de frenagem: distância necessária para imobilizar o veículo, a partir do acionamento dos freios. Depende tanto da velocidade de projeto como da capacidade de desaceleração do veículo.

Destaca-se que as distâncias de frenagem para veículos pesados são substancialmente maiores que as correspondentes para veículos leves. Porém, a maior altura dos olhos do motorista de veículos pesados pode auxiliar na visualização antecipada do risco, pois, enquanto a altura dos olhos do motorista em veículos leves é considerada 1,08 metros, esse valor varia entre 1,80 e 2,40 metros em veículos pesados [7].

Normalmente, as DVPs são suficientes para permitir que motoristas, razoavelmente competentes e atentos, executem paradas de emergência em condições ordinárias [2]. Contudo, existem algumas situações em que essas distâncias podem se revelar insuficientes, como: quando há necessidade de tomada de decisão complexa e imediata; quando as informações recebidas podem causar confusão; ou quando manobras inesperadas ou não habituais são necessárias.

Além disso, utilizar a DVP como a distância mínima necessária para parar o veículo pode dificultar o uso de manobras evasivas, frequentemente menos perigosas e preferíveis em relação à parada do veículo [7]. Nessas circunstâncias, a distância de visibilidade de tomada de decisão (DVTD), por ser maior, fornece comprimento adequado às necessidades do motorista [2].

A DVTD consiste na distância necessária para que o motorista seja capaz de detectar e reconhecer situações de risco (inesperadas e de difícil compreensão), avaliar o problema identificado, decidir a ação a ser tomada — selecionando trajetória e velocidade adequadas —, iniciar e concluir a manobra com eficiência e segurança [6].

São exemplos de locais críticos onde é desejável dispor de DVTD: interseções complexas, saídas pela esquerda, modificações na seção transversal, redução do número de faixas de tráfego e praças de pedágio [1]. Nesses casos, o PRT varia em função do grau de complexidade da situação com a qual o motorista se depara e do tipo de manobra que o motorista escolhe realizar. Em geral, o PRT para a DVTD é superior àquele adotado para os valores de projeto da DVP [8].

A AASHTO recomenda a adoção de 3,0 segundos para o PRT na determinação da DVTD em vias rurais, quando a manobra escolhida pelo motorista é a parada do veículo. Isso porque a DVTD considera o tempo para o motorista entender a rodovia, diante de uma geometria complexa [7]. Dessa forma, o PRT recomendado para a determinação da DVTD é superior ao PRT recomendado para a determinação da DVP e, consequentemente, a DVTD é superior à DVP.

Para o caso de entroncamentos, por exemplo, as DVTDs são substancialmente maiores que as correspondentes DVPs, devido aos comprimentos necessários para acomodar manobras (realizadas com velocidades reduzidas ou iguais à velocidade de projeto) e ao maior PRT (que pode assumir valores superiores a 11 segundos) [7]. Assim, a DVTD pode assumir valores que superam o dobro da DVP, pois oferece aos motoristas uma margem de segurança para falhas [8].

Contudo, diferentemente da DVP — que depende de parâmetros geométricos da via —, a DVTD pode ser alcançada com o uso de sinalização apropriada. Pré-sinalização e sinalização vertical de advertência¹¹ podem ser utilizadas para informar situações incomuns e de difícil compreensão ao motorista com antecedência. Isso permite que o motorista compreenda a configuração da via à sua frente e contribui para a tomada de decisão sobre as ações necessárias antes de alcançar uma situação de maior complexidade ou de risco.

¹¹ Este tema é abordado com mais detalhes no item “7.4 — Sinalização” deste capítulo.

A distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU) é a extensão necessária, em uma rodovia de pista simples, para que um veículo possa ultrapassar outro, mais lento, trafegando à sua frente, em condições aceitáveis de conforto e segurança [8]. A rodovia deve fornecer trechos frequentes e com extensão apropriada para a realização de manobras de ultrapassagem, de modo que os veículos lentos não provoquem grandes atrasos. Além disso, a extensão desses trechos deve ser suficiente para que o motorista que está realizando a ultrapassagem possa optar por abortar a manobra e retornar à faixa da direita, caso perceba que um veículo do fluxo oposto está a uma distância e a uma velocidade que impeça a conclusão da ultrapassagem com segurança [8].

A frequência e a extensão das seções de ultrapassagem dependem principalmente da topografia local e da velocidade de projeto. No contexto nacional, recomenda-se viabilizar a ultrapassagem em intervalos entre 1,5 e 3,0 km [2], enquanto diretrizes norte-americanas estabelecem como desejável a DVU presente em 20% da extensão total da via [8].

Oportunidades de ultrapassagem são influenciadas não só pela provisão de trechos com distância de visibilidade adequada, mas também, pela disponibilidade de intervalos suficientes entre os veículos que trafegam no sentido oposto [1]. No caso de rodovias com baixos volumes de tráfego, onde a necessidade de ultrapassagem é menor, as oportunidades são mais frequentes, uma vez que os intervalos entre os veículos se aproximando no sentido contrário são maiores [2]. À medida que crescem os volumes de tráfego, a demanda por ultrapassagens aumenta, entretanto, os intervalos no fluxo oposto e as oportunidades efetivas para realizar ultrapassagens com segurança diminuem.

Além do volume de tráfego, a presença de veículos pesados também impacta a demanda por ultrapassagens: quanto maior o volume de veículos pesados, maior é o tempo trafegando em pelotão¹², e maior é o risco que os motoristas estão dispostos a correr para realizar a ultrapassagem.

¹² Pelotões de tráfego ocorrem quando um veículo mais rápido trafega atrás de veículos lentos, devido à impossibilidade de realizar uma manobra de ultrapassagem [9]. De maneira geral, pode-se considerar um pelotão quando os intervalos entre veículos são iguais ou inferiores a 5 segundos [1].

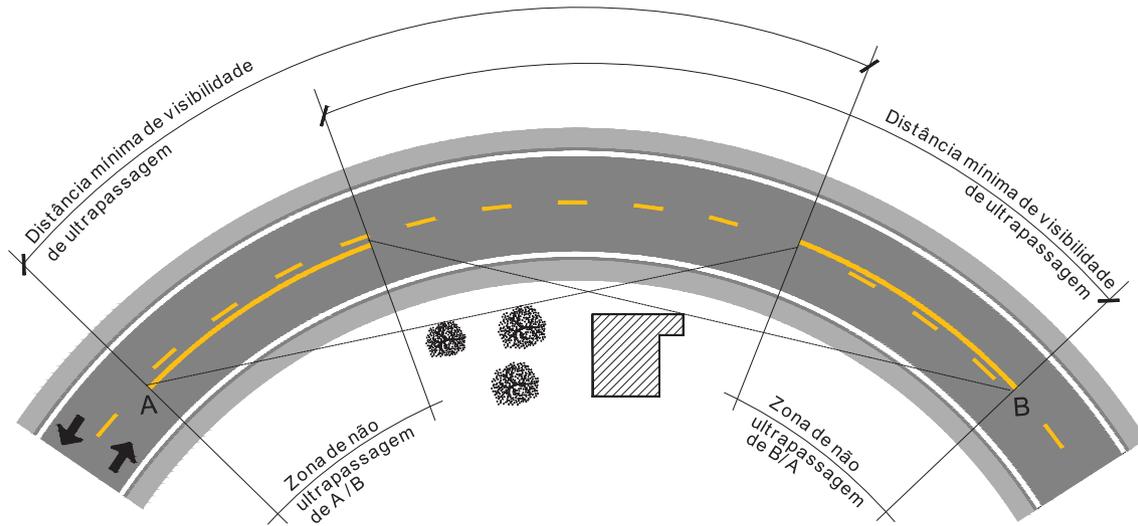
Quando as oportunidades não são suficientes para atender, com segurança, todos os veículos que desejam realizar ultrapassagens, podem ocorrer manobras perigosas — como tentativas de ultrapassagem em locais com visibilidade inadequada ou intervalo insuficiente. Nesses casos, é necessário viabilizar mais oportunidades de ultrapassagem com intervalo seguro.

A justificativa para o aumento das oportunidades de ultrapassagem é usualmente baseada na determinação dos níveis de serviço da rodovia. Alternativas para a viabilização de ultrapassagens, como a implantação de faixas adicionais de ultrapassagem, especialmente em rampas longas e íngremes, ou, até mesmo, a duplicação da rodovia, devem ser consideradas quando [2] [7]:

- (i) o volume horário na faixa de tráfego é maior que 200 veículos por hora;
- (ii) desse volume, pelo menos 10% correspondem a veículos pesados;
- (iii) uma das situações a seguir está presente:
 - a) prevê-se uma redução de pelo menos 15 km/h na velocidade de veículos pesados;
 - b) o trecho tem nível de serviço E ou F;
 - c) a rodovia experimenta queda de dois ou mais níveis de serviço no trecho.

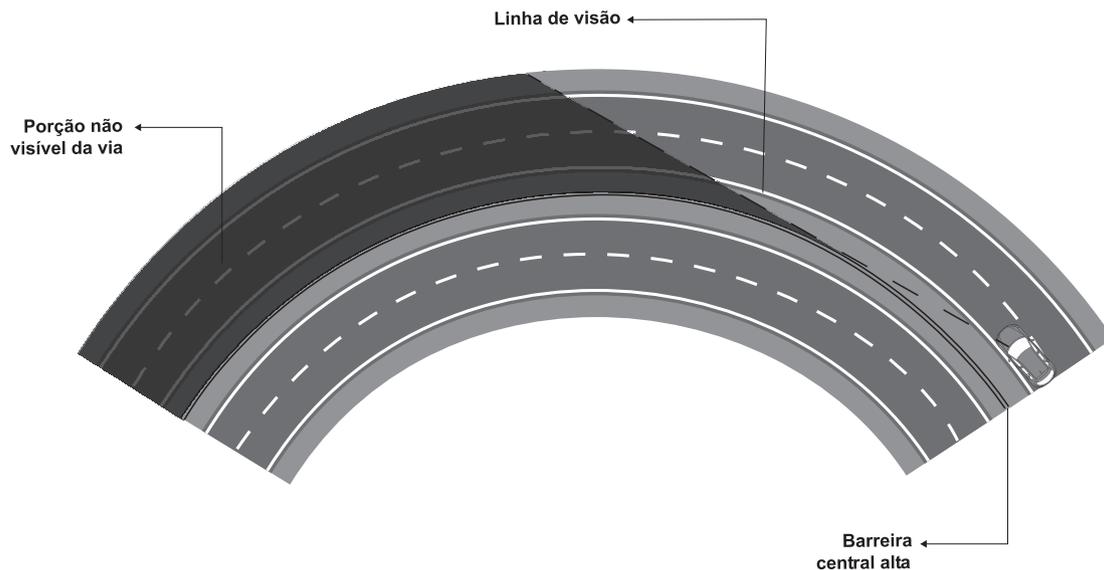
Além disso, a existência de pelotões em segmentos viários ou uma alta ocorrência de acidentes pode auxiliar na identificação de locais onde devem ser fornecidas mais oportunidades de ultrapassagem.

Ao se considerar a Segurança Viária em curvas, a distância de visibilidade é um elemento particularmente importante. Obstáculos situados nas partes internas de curvas horizontais, como taludes de corte, vegetação, construções etc., podem obstruir a visão do motorista, reduzindo a distância de visibilidade na via. Até mesmo os objetos relativamente baixos podem afetar a visibilidade nessas situações, como ilustrado na Figura 7.8. Portanto, deve-se garantir uma área lateral livre capaz de fornecer distância de visibilidade suficiente para a parada do veículo com segurança, quando necessário, e para a realização de ultrapassagens, quando permitido.

Figura 7.8: Porção não visível da via em curva horizontal com obstáculo na linha de visão

Fonte: [10]

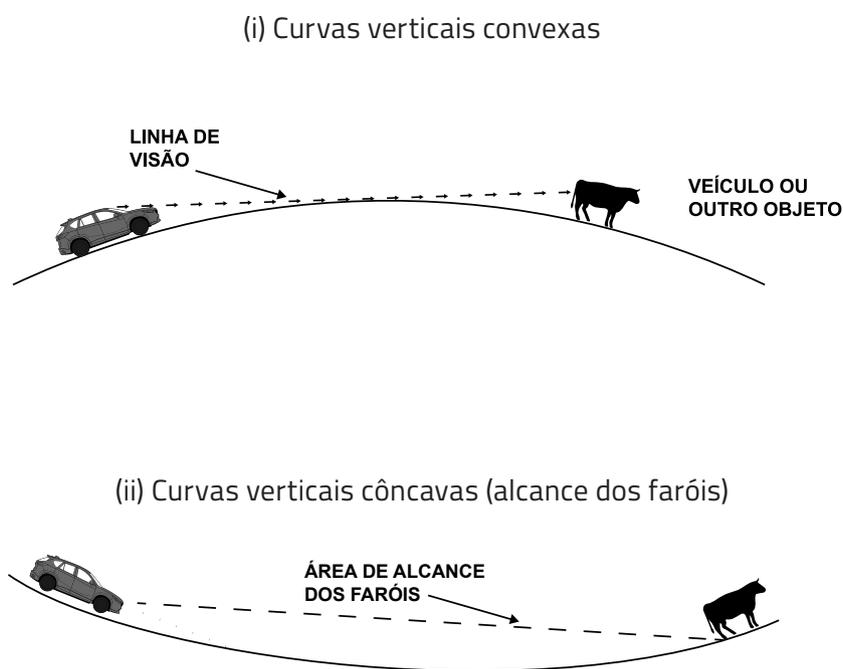
A distância de visibilidade também pode ser afetada pela presença de barreiras centrais altas em curvas horizontais, como ilustrado na Figura 7.9. Nesses casos, o motorista pode ser surpreendido por situações perigosas presentes na porção não visível da via, resultando em colisões traseiras, decorrentes de frenagens bruscas e paradas abruptas.

Figura 7.9: Porção não visível da via em curva horizontal com barreira central

Fonte: elaborado pelo autor com base em [11]

Outra situação que pode afetar a distância de visibilidade é a presença de curvas verticais. Em curvas verticais convexas, o desenvolvimento do traçado deve garantir distância de visibilidade suficiente para o motorista identificar possíveis riscos localizados na curva, e ter condições de parar o veículo com segurança, quando necessário (Figura 7.10 (i)). No caso de curvas côncavas, é necessário verificar a possível redução de visibilidade, decorrente da limitação do alcance dos faróis dianteiros no período noturno (Figura 7.10 (ii)) ou pela interferência de estruturas transversais, como viadutos, sinalização etc.

Figura 7.10: Distância de visibilidade em curvas verticais



Fonte: elaborado pelo autor com base em [1]

Além das distâncias de visibilidade anteriormente mencionadas (DVP, DVTD e DVU), que são determinadas considerando o ponto de vista dos veículos que trafegam na via principal, um projeto seguro de rodovias deve assegurar a visibilidade de outros veículos que desejam atravessar a rodovia ou se inserir ao tráfego dessa via.

Oportunidades de cruzamento são determinadas pela disponibilidade de intervalos entre a passagem de veículos na via que se deseja cruzar. Esses intervalos devem

ser suficientes para que os veículos que desejam cruzar a via sejam capazes de atravessá-la completamente, alcançando o outro lado com segurança. Veículos pesados, em especial, exigem intervalos maiores para realizar essa manobra devido ao comprimento, capacidade de aceleração e de desaceleração e ao tempo de exposição nos cruzamentos.

Assim, é necessário garantir que a aproximação dos ramos de interseções e acessos tenham um ângulo de visibilidade adequado, de modo que os motoristas sejam capazes de enxergar os veículos que se aproximam pela via principal [1] e determinar os intervalos disponíveis, escolhendo o melhor momento para realizar a manobra desejada.

Ressalta-se que, quanto maior o tempo de espera para executar o cruzamento, maiores são os riscos que os usuários estão dispostos a aceitar. Logo, pode ser necessário separar os movimentos conflitantes no tempo ou espaço, mediante a implantação de cruzamentos em desnível, instalação de semáforos e outros. Esse tema é abordado com mais detalhes no “Capítulo 9 — Interseções e acessos”, que fornece diretrizes gerais para a escolha do tipo de interseção e de controle de tráfego de acordo com as condições locais.

Pedestres e outros usuários que desejam atravessar a rodovia também devem ter uma boa visibilidade para determinar os intervalos e decidir quando executar a travessia, pois, assim como os veículos, quanto maior o tempo de espera, maiores são os riscos que os pedestres estão dispostos a aceitar.

Portanto, em locais onde é esperada demanda de usuários vulneráveis, um projeto seguro de rodovias deve fornecer oportunidades de travessia em áreas apropriadas, permitindo que os motoristas sejam capazes de enxergar esses usuários. Dessa forma, a visibilidade e os intervalos disponíveis entre a passagem de veículos influenciam o tipo de travessia que deve ser fornecida aos pedestres. Esse assunto é abordado com mais detalhes no “Capítulo 11 — Considerações sobre usuários vulneráveis”.

7.1.6 *Larguras das faixas de rolamento e acostamento*

De modo geral, a largura da faixa de rolamento e a largura dos acostamentos são determinadas em função da classe da rodovia e do tipo de relevo. A Tabela 7.1 apresenta

os valores básicos recomendados para o dimensionamento da largura de uma faixa de rolamento em tangente e as Tabelas 7.2 e 7.3 resumem as larguras de acostamento a serem adotadas.

Tabela 7.1: Largura das faixas de rolamento em tangentes (m)

Classe de projeto	Relevo plano	Relevo ondulado	Relevo 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

* preferivelmente 3,50 m, quando esperada alta percentagem de veículos pesados

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

Fonte: [2]

Tabela 7.2: Largura dos acostamentos externos (m)

Classe de projeto	Relevo plano	Relevo ondulado	Relevo 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	1,00	0,50

* preferivelmente 3,50 m 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. No caso de rodovias não pavimentadas, representam a contribuição para estabelecimento da largura da plataforma.

Fonte: [2]

Tabela 7.3: Largura dos acostamentos internos (m)
pistas de mão única — Classes O ou IA

Número de faixas de rolamento da pista	Relevo plano*	Relevo ondulado*	Relevo 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

* valores recomendados e excepcionais, respectivamente

** quando necessário, prever a largura equivalente a um acostamento.

Fonte: adaptado de [2]

Em curvas, a largura das faixas de rolamento e dos acostamentos têm influência ainda mais significativa na Segurança Viária, pois determinam o espaço para manobra e a visibilidade da rodovia. Como mencionado anteriormente, a maior parte dos acidentes em curvas ocorrem com veículos que saem da rodovia. Assim, é desejável a adoção de superlargura em qualquer trecho curvo, de modo a permitir que veículos pesados percorram a curva inscritos na faixa de rolamento.

Os acostamentos devem ser, preferencialmente, pavimentados e desobstruídos, para auxiliar na recuperação da trajetória de veículos errantes e na parada de veículos em emergências. Além disso, é recomendável que os acostamentos sejam nivelados com a pista, visto que degraus entre a faixa de tráfego e o acostamento aumentam o risco de perda de controle do veículo. Nesse sentido, é aceitável um desnível máximo de 5 cm entre a pista e o acostamento [2].

Em trechos curvos, a qualidade dos acostamentos merece atenção especial, devido à maior tendência dos veículos extrapolarem a faixa de rolamento. O índice de invasão lateral é cerca de quatro vezes maior nas partes externas das curvas do que em tangentes, e duas vezes maior nas partes internas [1]. Assim, acostamentos nivelados permitem que parte de sua largura funcione como um acréscimo de largura à faixa de rolamento, especialmente necessários para a operação de veículos pesados. Além disso, a presença de acostamentos também pode melhorar a visibilidade em seções de corte.

Além disso, em razão da segurança, recomenda-se que os acostamentos apresentem, quando possível, textura, rugosidade, coloração e outras características físicas contrastantes com a faixa de rolamento, conforme ilustrado na Figura 7.11. Essas

diferenças entre o pavimento da faixa de rolamento e o pavimento do acostamento tem como principal objetivo alertar os motoristas caso saiam da pista inadvertidamente.

Figura 7.11: Acostamentos com pavimentos diferentes da pista de rolamento



(a)

(b)

Fonte: (a) [12] e (b) acervo DER/SP

Sonorizadores também costumam ser utilizados para alertar os motoristas nessas situações, podendo ser sonorizadores em ranhuras — que necessitam pavimento de alta qualidade nos acostamentos — ou com pintura em relevo. A Figura 7.12 apresenta os dois tipos de sonorizadores supracitados, respectivamente.

Figura 7.12: Sonorizadores laterais



(a)

(b)

Fonte: (a) [13] e (b) acervo DER/SP

7.2 Pavimento

O estado de conservação do pavimento é um elemento importante para a Segurança Viária de uma rodovia. Um bom pavimento deve resistir aos efeitos climáticos, proporcionar conforto ao usuário, suportar os esforços provenientes dos veículos pesados que circulam na via e apresentar coeficiente de atrito pneu-pavimento adequado [1].

Para isso, o pavimento deve ser projetado de acordo com métodos de dimensionamento estabelecidos na “Instrução de Projeto: Projeto de Pavimentação” do DER [14], considerando os esforços solicitantes provenientes do tráfego, das propriedades geotécnicas dos solos do subleito e das condições climáticas da área de implantação da obra.

O tráfego e as condições climáticas submetem os pavimentos ao desgaste desde a sua construção, podendo ocasionar defeitos na superfície, como afundamento nas trilhas de roda, trincamento e irregularidade longitudinal. Tais defeitos elevam o risco de ocorrência de acidentes por perda de controle do veículo, especialmente quando há acúmulo de água na pista — fenômeno da aquaplanagem. Buracos no pavimento, por sua vez, podem danificar e desestabilizar o veículo em operação [4].

A manutenção periódica é importante para prolongar a vida útil do pavimento, adiando ou limitando o desenvolvimento de defeitos e preservando, assim, as funções da via, como fluidez, segurança, conforto, aderência e capacidade de suportar cargas.

Em manutenções de rotina, nas quais são tratados problemas pontuais, é necessário garantir que as intervenções realizadas no decorrer da vida de serviço do pavimento não afetem a funcionalidade ou a segurança de outros elementos da via.

Após realizar obras de manutenção no pavimento e antes de liberar a via ao tráfego, deve-se verificar se a sinalização horizontal e os dispositivos de drenagem não foram comprometidos e se estão de acordo com a norma, especialmente após obras de fresagem e recomposição do pavimento.

Além disso, melhorias nos pavimentos podem levar a um aumento das velocidades praticadas pelos motoristas. Assim, para que a segurança não seja comprometida, essas melhorias devem ser acompanhadas de adequações nos demais elementos da

rodovia, especialmente relacionados à geometria. Melhorar a condição do pavimento em trechos sinuosos, por exemplo, pode levar a um aumento no número de acidentes, caso não sejam realizadas alterações na geometria, sinalização e iluminação, além da implantação de dispositivos para controle de velocidade [15].

Outro pressuposto básico para um deslocamento seguro de veículos é a boa aderência pneu-pavimento, que influencia tanto no controle da direção do veículo quanto na distância de frenagem, uma vez que um aumento do coeficiente de atrito leva a uma diminuição dessa distância. Além disso, o atrito provocado pelo contato pneu-pavimento diminui com o aumento da velocidade do veículo.

Em pavimentos secos, a poeira acumulada (especialmente em períodos de seca) e manchas de óleo podem contribuir para deixar o pavimento escorregadio e diminuir sua aderência. Porém, o maior problema relacionado à aderência pneu-pavimento ocorre em pistas molhadas. A diminuição da aderência pneu-pavimento com o aumento da velocidade é ainda mais significativa em pavimentos molhados. Dessa forma, como os motoristas não costumam ajustar a velocidade o suficiente para compensar a redução na aderência, o risco de ocorrência de acidentes costuma ser maior em superfícies molhadas [4].

O fenômeno *spray*, ocasionado pela passagem do veículo em alta velocidade em lâminas d'água superficiais, provoca diminuição da visibilidade de outros veículos, o que também contribui para o aumento do risco de acidentes em pistas molhadas. Esse fenômeno é ilustrado na Figura 7.13.

Figura 7.13: Fenômeno *spray* em vias molhadas



Fonte: [16]

Além disso, a água presente em eventuais empoçamentos pode ser projetada e atingir o para-brisa de outros veículos, comprometendo sua visibilidade. Essa projeção pode ser gerada pela interação, em alta velocidade, dos sulcos dos pneus com a água presente na via e ocorrer acompanhada de detritos, podendo atingir o para-brisa dos veículos.

Para garantir uma boa aderência pneu-pavimento, obras de implantação ou reabilitação do pavimento devem prever o uso de revestimentos asfálticos com melhor macrotextura e, conseqüentemente, maior coeficiente de atrito, como por exemplo o micro-revestimento asfáltico a frio, o SMA (*Stone Matrix Asphalt*) ou o *Gap Graded*. Uma outra opção é utilização da camada porosa de atrito (CPA), um revestimento asfáltico drenante que permite a percolação da água no interior da própria camada, diminuindo, significativamente, a lâmina d'água na superfície do pavimento e reduzindo o efeito do *spray*.

7.3 Drenagem

Aproximadamente 25% das colisões, bem como 13,5% das colisões com mortes, ocorrem em pistas molhadas [1]. Gerenciar as águas superficiais é um aspecto indispensável para conferir Segurança Viária, principalmente em vias que permitem velocidades elevadas. O escoamento rápido das águas para fora da faixa de rolamento durante chuvas fortes requer sistemas de drenagem confiáveis e eficientes.

A água na superfície da via pode ter dois destinos: parte escorre sobre a superfície do pavimento (sendo conduzida para as laterais da pista), e parte se infiltra no pavimento. Este capítulo, apresenta a drenagem em termos de capacidade de escoamento superficial da água.

Entretanto, a drenagem superficial não deve ser vista somente com relação à sua capacidade hidráulica, mas também com relação à segurança das laterais da via e seu efeito na zona livre de obstáculos. Esse tema é abordado no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”, com destaque para o projeto seguro dos dispositivos de drenagem lateral, que devem ser, preferencialmente, traspassáveis ou apresentar proteção por dispositivo de contenção lateral.

Com relação às águas que são escoadas para as laterais da rodovia, é necessário garantir que não ocorra empoçamento na borda do pavimento. Em rodovias onde o acostamento não é pavimentado, a presença de vegetação ou acúmulo de resíduos nas proximidades do acostamento pode acarretar a retenção de lâminas de água na superfície da via ou no escoamento longitudinal da água ao longo da faixa de rolamento. Acostamentos pavimentados eliminam o aparecimento de vegetação nas bordas da pista, o que faz com que não ocorra retenção de lâminas d'água nas laterais da via. Deve-se atentar, contudo, para que esse fenômeno não ocorra nas laterais dos acostamentos pavimentados e nos acostamentos internos. Inspeções regulares e limpeza dos dispositivos de drenagem devem ser realizadas em acostamentos pavimentados e não pavimentados, para garantir o correto escoamento das águas nas laterais das vias [1].

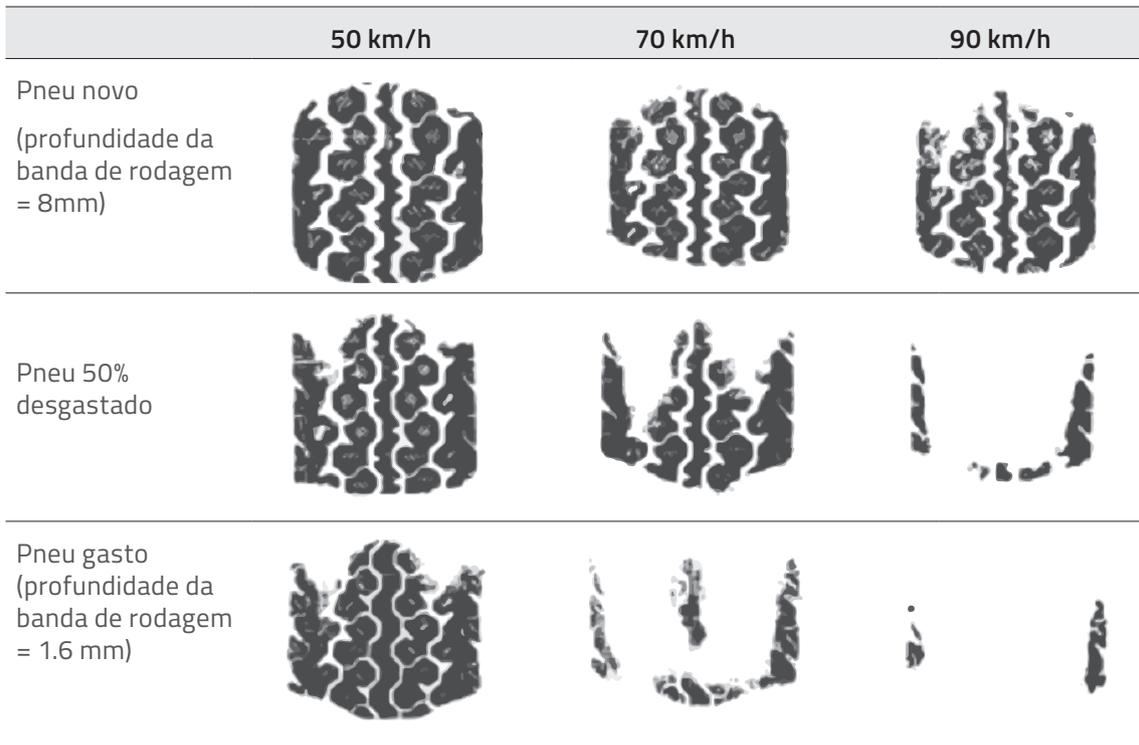
Além disso, a espessura da sinalização horizontal contínua implantada nos bordos deve fornecer condições para o escoamento superficial lateral e não ocasionar a formação de lâmina d'água. Assim, recomenda-se que a sinalização dos bordos seja baixa ou apresente aberturas para o escoamento.

A presença de uma lâmina d'água na superfície da via pode comprometer a segurança. Mesmo a fina película de água pode reduzir o atrito entre o veículo e a via, como explicado no item “7.2 — Pavimento”.

O fenômeno conhecido como aquaplanagem ocorre, justamente, quando há perda de aderência ou tração entre os pneus do veículo em movimento e a superfície da via, devido à presença de uma lâmina d'água. A perda de aderência pode ser completa ou parcial, e representa um alto risco para a ocorrência de acidentes. No caso da perda de contato parcial, o risco é ainda maior, pois pode resultar em instabilidade direcional do veículo, dado que alguns pneus estão em contato com o pavimento e outros não.

Existem muitos fatores que afetam a aderência pneu-pavimento, incluindo a banda de rodagem e a pressão do pneu, a superfície e a geometria da via, a velocidade do veículo e a altura da lâmina d'água sobre a superfície. A Figura 7.14 apresenta como a banda de rodagem, e conseqüentemente, o atrito, são influenciados pela velocidade do veículo e pelo desgaste do pneu em uma pista com lâmina d'água de 1,00 mm. Nota-se que a combinação de pneus desgastados e velocidades elevadas resulta em uma banda de rodagem extremamente pequena, o que representa um grande risco de aquaplanagem, além de aumentar a distância de frenagem.

Figura 7.14: Influência da profundidade da banda de rodagem para uma lâmina d'água de 1 mm de profundidade (redução da área de contato entre o pneu e o pavimento)



Fonte: [17]

Devido ao aumento gradativo das velocidades de operação dos veículos ao longo dos anos, os acidentes ocasionados por aquaplanagem têm-se tornado preocupações mais frequentes para a segurança rodoviária [1].

Para reduzir a possibilidade de aquaplanagem, a rodovia deve ter um sistema de drenagem superficial eficiente, com declividade transversal apropriada e pavimentos drenantes ou com macrotextura adequada [1], conforme recomendado no item “7.2 — Pavimento”. Além disso, o crescente reconhecimento da importância da drenagem superficial dos pavimentos tem resultado em avanços consideráveis nas técnicas de drenagem [18].

7.4 Sinalização

O uso adequado da sinalização é essencial para garantir a operação eficiente e segura do sistema viário, comunicando de forma clara a operação da via, em conformidade com as características de projeto. A sinalização tem as funções de regulamentar, advertir e orientar os usuários em diversas situações. Do ponto de vista de Segurança Viária, a sinalização pode ser utilizada para advertir o usuário a respeito de situações incomuns ou de riscos presentes na via, especialmente em situações de quebra de expectativa.

A sinalização deve ser capaz de comunicar adequadamente aos motoristas e demais usuários da via sobre as regras de circulação, adotadas conforme o Manual de Sinalização Rodoviária do DER/SP [10]. Uma boa sinalização permite que os usuários percebam, em tempo hábil, mudanças no traçado da via, além da existência de áreas de risco, como áreas com curvas de raio reduzido e trechos de visibilidade limitada. Igualmente, a sinalização deve fornecer sistemas de orientação de destino adequados, de forma que o motorista seja capaz de identificar rapidamente o caminho que deve seguir.

Quando o motorista está sobrecarregado de informações, não recebe informações em tempo hábil ou suas expectativas não são atendidas, a resposta às situações se torna mais lenta e a propensão a erros é maior. Por esse motivo, os projetos de rodovias devem considerar as limitações dos usuários, garantindo que o Tempo de Percepção e Resposta (PRT) disponível seja suficiente para que os motoristas possam evitar a ocorrência de acidentes.

A sinalização é parte integrante do projeto viário, sendo responsável por acrescentar à via todo o conjunto de elementos necessários para transmitir aos usuários qual a forma mais segura e eficaz de utilizar a rodovia. Por esse motivo, certas decisões de projeto podem ser influenciadas por aspectos de sinalização. Uma sinalização de advertência adequada, por exemplo, pode representar um ganho na operação em situações de visibilidade limitada devido ao alinhamento da via [19].

Fornecer informações de orientação e das regras de circulação da via que sejam facilmente entendidas, sem ambiguidades e com antecedência suficiente para que os motoristas possam agir de forma eficiente e segura é o objetivo da orientação positiva. Essa abordagem entende que é de responsabilidade dos projetistas e gestores do

sistema de transporte eliminar ou mitigar fatores que possam induzir ou incentivar erros humanos, assim como a consequência desses erros.

A orientação positiva é baseada em uma combinação de fatores humanos e princípios da engenharia de tráfego, que busca auxiliar o motorista com o processamento de informações de forma precisa e rápida, considerando os seguintes aspectos [20]:

- Primazia: implantar a sinalização de acordo com a importância das informações e apresentar ao motorista informações somente quando e onde necessário;
- Distribuição: distribuir as informações na área de influência do segmento de modo a não sobrecarregar o motorista;
- Codificação: utilizar, sempre que possível, símbolos, códigos de cores e formas para transmitir a mensagem e facilitar a detecção, legibilidade e compreensão da sinalização;
- Redundância: expor a mesma informação de múltiplas formas, incluindo sinalização indicativa com pré-sinalização e confirmação de saída, e sinalização de advertência precedendo sinalização de regulamentação. A informação também pode ser exposta de mais de uma maneira através da combinação de placas e marcações no pavimento.

A Sinalização Viária é composta por diversos elementos de comunicação com os usuários da via que podem ser classificados nos seguintes tipos [10], [19]:

- Sinalização horizontal (demarcações no pavimento): é o conjunto de elementos (linhas, marcas, símbolos ou legendas) aplicados ao pavimento da via para orientar e ordenar a circulação viária, facilitando o posicionamento dos veículos dentro da faixa de rolamento e no sentido adequado. Como vantagens, apresenta boa comunicação com os motoristas, pois fornece as informações sem que seja necessário desviar o olhar da pista. Como desvantagens, tem distância de visibilidade restrita (principalmente no período noturno e em condições de chuva) e sofre encobrimento pelo tráfego (que a torna menos notável, principalmente com tráfego intenso). O reforço da sinalização, por meio do uso de tachas retrorrefletivas ou outros materiais

retrorefletivos, permite um melhor desempenho da sinalização com relação à visibilidade em condições meteorológicas adversas. A durabilidade e desempenho da sinalização devem ser adequados à composição do tráfego, ao traçado da via, à qualidade e vida-útil do pavimento e à frequência de manutenção. A retrorefletividade deve receber manutenção regularmente, visto que o material apostado no pavimento diminui com o tempo, devido ao atrito causado pela passagem dos veículos. O atrito superficial entre os pneus e as demarcações na rodovia deve ser suficiente para evitar que a pintura seja escorregadia. Recomenda-se a utilização de materiais antiderrapantes, principalmente em marcas transversais, legendas e em linhas de estímulo à redução de velocidade. O risco de perda do atrito do pneu devido à presença da sinalização é ainda maior para veículos leves e motociclistas em pistas molhadas. A norma europeia recomenda um Valor de Resistência à Derrapagem (VRD) mínimo¹³ de 45 para sinalização horizontal em qualquer tipo de via. Em geral, classes de alto desempenho em retrorefletividade e classes de alto desempenho em resistência à derrapagem não podem ser alcançadas simultaneamente [21].

- Sinalização vertical (sinais de trânsito): é um conjunto de elementos, em geral placas, fixados na posição vertical, normalmente ao lado da via ou suspenso à ela. Divide-se em três categorias de acordo com seu objetivo: sinalização de regulamentação — tem por finalidade informar as condições, proibições, obrigações ou restrições no uso das vias; sinalização de advertência — alerta os motoristas sobre as condições potencialmente perigosas; sinalização de indicação — identifica as vias e os locais de interesse, bem como, orienta os motoristas de veículos quanto aos percursos, destinos, distâncias e serviços auxiliares, podendo também ter como função a educação do usuário. Cada uma dessas categorias apresenta cores, formatos e dimensões diferentes, especificadas no Manual de Sinalização Rodoviária do DER/SP [10], na Resolução nº 160 do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) [22] e no Manual de Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Volumes I, II e III) [23], [24], [25]. Como vantagens, a sinalização vertical

¹³ Valor obtido a partir de ensaios com o Pêndulo Britânico. Mais detalhes sobre o procedimento e os valores podem ser encontrados na norma europeia EN 1436:2018 [21].

tem a capacidade de se comunicar com o usuário a maior distância, além de ser mais durável e resistente às interpéries e à ação solar. Porém, como desvantagens, pode ser obstruída por obstáculos e veículos de maior porte, e os suportes podem contribuir para a ocorrência ou a severidade de acidentes relacionados a veículos que saem da pista. Ressalta-se a importância de que o posicionamento e os materiais que constituem as sinalizações verticais sejam pensados em termos de Segurança Viária¹⁴.

- Sinalização luminosa: é constituída por semáforos, luzes de advertência e Painéis de Mensagens Variáveis (PMV). Os semáforos alternam o direito de passagem entre os movimentos de veículos e entre veículos e pedestres, garantindo maior segurança e maior facilidade de cruzamento. PMVs fornecem mensagens dinâmicas e diretas, informando sobre as condições de operação da via e do tráfego, como acidentes, congestionamentos, direcionamento do tráfego, emergências, rotas alternativas, obras e condições meteorológicas adversas. Luzes de advertência reforçam a sinalização convencional em situações de risco potencial que exigem maior atenção do usuário, como presença de obras, serviços de conservação, emergências, cruzamentos com parada obrigatória, condições meteorológicas adversas, locais com congestionamentos constantes, dentre outras.
- Dispositivos auxiliares de sinalização: são elementos de diferentes tipos (tachas retrorrefletivas, balizadores, marcadores de alinhamento, marcadores de perigo, marcações de obstáculos, sonorizadores, cilindros etc.) que contribuem para tornar mais efetiva a comunicação da sinalização com os usuários. Os dispositivos são aplicados para reforçar a informação ou destacar os elementos da via a que se referem. A classificação engloba todos os elementos da via que tornam a sinalização mais eficaz, reforçando situações de risco potencial. ou servindo de referência para o posicionamento correto dos veículos na pista (incluindo o delineamento e canalização em locais apropriados).

¹⁴ Tema abordado no “Capítulo 8 —Projeto seguro das laterais das vias”.

Uma Sinalização Viária adequada garante informação visual suficiente para os motoristas trafegarem de forma segura e eficiente, sendo, portanto, de grande importância para um projeto seguro de rodovias. O nível de atendimento dessas informações depende do projeto, do meio ambiente e dos dispositivos de controle de tráfego existentes. Os planejadores, projetistas e operadores devem determinar as informações necessárias, onde devem ser localizadas e a forma de apresentá-las, com o objetivo de maximizar a compreensão de situações que podem levar os usuários à cometerem erros e de guiá-los com segurança ao longo da rodovia [1].

7.5 Iluminação

Em rodovias, o índice de acidentes com vítima fatal é de duas a três vezes maior durante o período noturno do que durante o período diurno [1]. Acidentes em locais com baixa iluminação também costumam ser mais severos. Existem diversas explicações para o maior número de ocorrências no período noturno, como: (i) menor volume de tráfego, que possibilita o desenvolvimento de velocidades mais altas; (ii) fadiga e sonolência dos motoristas; (iii) motoristas tendem a ter comportamentos mais arriscados no período noturno, com menos veículos trafegando; (iv) diminuição da visibilidade — da via, dos entornos, dos demais usuários e de possíveis obstáculos; e (v) perda visual dos motoristas no período noturno com a idade (capacidade de acomodação visual — claro/escuro).

Assim, quando utilizada em locais apropriados, a iluminação pode ser uma boa contramedida para reduzir os acidentes [1]. Estudos de Segurança Viária podem recomendar a adoção de iluminação em locais como travessias urbanas, calçadas para o trânsito de pedestres, trechos com neblina, trechos em serra, cruzamentos em nível e, também, locais com alta incidência de acidentes. Em áreas rurais, a iluminação pode ser justificada principalmente em cruzamentos em desnível, com geometria mais complexa e com pontos de convergência e/ou divergência de tráfego.

Um projeto de iluminação deve atender aos critérios de visibilidade relacionados com a forma e quantidade de luz que chega à via, junto às características de reflexão da via e dos objetos que se encontram ao longo dela. O projeto de iluminação deve

proporcionar as melhores condições de segurança para motoristas e, eventualmente, ciclistas e pedestres presentes na rodovia [15].

O projeto deve obedecer à Norma da ABNT NBR 5101 de iluminação pública, que define parâmetros mínimos, como: classificação das vias; níveis de iluminância e o fator de uniformidade adotado; tipos de luminárias, lâmpadas e postes; tipo de instalação; cálculo e estudo luminotécnico; distribuição das luminárias [26]. Além disso, deve seguir as recomendações das Instruções de Projeto para Iluminação de Rodovias [27] e para Projeto de Instalações Elétricas [28] e das Especificações Técnicas de Materiais e Equipamentos para Iluminação de Rodovias [29] e de Serviços para Iluminação de Rodovias [30], do DER/SP. A disponibilidade de energia e os custos de manutenção são fatores que também influenciam na escolha do sistema de iluminação.

O uso de iluminação com postes altos é desejável por fornecer ao motorista maior campo de visibilidade, possibilitando melhor orientação sobre as condições da via e do tráfego. O posicionamento e os materiais que constituem os postes, assim como os suportes utilizados em sinalizações verticais, merecem atenção no projeto, uma vez que podem contribuir para a ocorrência e para maior severidade de eventuais acidentes relacionados a veículos que saem da pista¹⁵. Quando possível devem ser utilizados postes colapsíveis para o sistema de iluminação.

A habilidade do olho humano em ajustar sua sensibilidade visual é relativamente lenta, em particular quando os motoristas se movem de áreas bem iluminadas para outras com baixa iluminação. Nessas situações, são necessários alguns segundos para o olho se ajustar às novas condições, principalmente para os motoristas idosos. Dessa forma, deve-se projetar transições graduais de iluminação ao longo do segmento viário, para permitir o ajuste da sensibilidade visual do motorista. Isso ocorre, por exemplo, em ilhas de pedágio, onde recomenda-se que a iluminação seja intensificada à medida que se aproxima das cabines de cobrança.

Atenção especial também deve ser dirigida à iluminação de túneis, especialmente em túneis longos. No período diurno, é importante considerar o ajuste da sensibilidade do olho humano à luz natural. Para o período noturno, além de seguir as recomendações

¹⁵ Tema abordado com mais detalhes no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”.

de iluminação da norma brasileira e das Instruções de Projeto, a iluminação do túnel deve ser complementada nos trechos de rodovia adjacentes ao túnel.

Dados de acidentalidade mostram que a ocorrência de acidentes em túneis é mais frequente nas áreas de transição entre o túnel e as rodovias a céu aberto, do que no interior do túnel. Assim, a área a céu aberto próxima ao túnel é a de maior risco para a Segurança Viária [4], sendo necessário garantir que a relação entre os níveis de iluminação no interior do túnel e nos segmentos adjacentes da rodovia seja inferior à razão máxima determinada na norma. Além disso, é necessário incluir, na entrada dos túneis, luzes de indicação de pistas abertas e bloqueadas ao tráfego.

7.6 Considerações finais sobre a elaboração de um projeto seguro

Rodovias devem ser projetadas de modo a fornecer um ambiente seguro para o deslocamento dos diferentes usuários do sistema viário. O atendimento aos critérios de projeto dos diferentes elementos viários, estabelecidos por meio de normas, é um dos fatores podem influenciar na Segurança Viária de uma rodovia.

No entanto, respeitar os critérios de projeto não garante que uma rodovia seja segura. Muitas vezes é necessário considerar a interação entre diferentes elementos e o modo como essa interação é capaz de influenciar o comportamento dos motoristas e outros usuários das vias.

Ainda, é possível que, em algumas situações, não seja possível garantir o atendimento a todos os critérios mínimos dos elementos de projeto. Nesses casos, a via deve ser equipada com elementos que auxiliem na identificação de situações de risco e forneçam tempo suficiente para que o motorista seja capaz de reagir a elas, adequar seu movimento e velocidade e, assim, evitar a ocorrência de acidentes.

Cada projeto deve ser analisado individualmente, com base nas características locais, na classe da rodovia, na velocidade diretriz, no tipo de usuário, no volume e composição de tráfego e na coordenação dos diferentes elementos viários, a fim de garantir um projeto seguro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Rio de Janeiro, Brasil, 2010
- [2] BRASIL, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro, Brasil, 1999
- [3] PONTES FILHO, Glauco. **Estradas de rodagem: Projeto Geométrico**. São Carlos, Brasil, 1998
- [4] ELVIK, Rune et al. **The Handbook of Road Safety Measures**. 2ª edição. Reino Unido, 2009
- [5] AUSTRÁLIA, Austroads. **Guide to Road Design Part 3: Geometric Design**. Sydney, Austrália: Austroads Ltd, 2021
- [6] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Instrução de Projeto: Projeto Geométrico (IP-DE-F00/001)**. São Paulo, Brasil, fev. 2005.
- [7] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. 7ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2018
- [8] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Instrução de Projeto: Notas técnicas de Projeto Geométrico (NT-DE-F00/001)**. São Paulo, Brasil, ago. 2006
- [9] ESTADOS UNIDOS, Transportation Research Board. **Highway Capacity Manual**. Washington, D.C., Estados Unidos, 2000
- [10] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Manual de Sinalização Rodoviária: Volume I — Projeto**. São Paulo, Brasil, 2006
- [11] BASSAN, Shy. Sight distance restriction on highways' horizontal curves: insights and sensitivity analysis. **European Transport Research Review**, vol. 8, n. 3, p. 1–14, 2016
- [12] Trânsito de veículos na SP-270 em Presidente Prudente sofrerá alterações neste domingo devido a vestibular. **G1 Presidente Prudente**. 12 jun. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/presidente-prudente-regiao/noticia/2021/06/12/transito-de-veiculos-na-sp-270-em-presidente-prudente-sofrera-alteracoes-neste-domingo-devido-a-vestibular.ghtml>. Acesso em: 29 mar. 2022
- [13] BUTLER, Kendal. Rumble strips keep drivers on the road. **ASPHALT: The magazine of the Asphalt Institute**. Disponível em: <http://asphaltmagazine.com/rumble-strips-keep-drivers-on-the-road/>. Acesso em: 29 mar. 2022

- [14] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Instrução de Projeto: Projeto de Pavimentação (IP-DE-P00/001)**. São Paulo, Brasil, jan. 2006
- [15] PERU, Ministerio de Transportes y Comunicación. **Manual de Seguridad Vial**. Lima, Peru, 2017
- [16] Quais são e como proceder às condições adversas de trânsito? **Blog Sansuy**. 20 mar. 2019. Disponível em: <https://blog.sansuy.com.br/quais-sao-e-como-proceder-as-condicoes-adversas-de-transito/>. Acesso em: 29 mar. 2022
- [17] AUSTRÁLIA, Austroads. **Guide to Road Design Part 5A: Drainage — Road Surface, Networks, Basins and Subsurface**. Sydney, Austrália: Austroads Ltd, 2023
- [18] BRASIL, Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2ª edição. Rio de Janeiro, Brasil, 2006
- [19] PIETRANTONIO, Hugo. **Apostila da Disciplina PTR 3531: Capítulo 5. Sinalização Viária**. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/ptr3531/Cap%C3%ADtulo5n.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2022
- [20] RANGEL, M. A. C. **Análise da percepção da sinalização vertical por parte do condutor, utilizando ambientes simulados de direção**. Um estudo de caso na rodovia BR-116. Tese de Mestrado — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015
- [21] EUROPA, European Committee for Standardization (CEN). **EN 1436:2018 — Road marking materials — Road marking performance for road users and test methods**. Bruxelas, Bélgica, jan. 2018
- [22] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Resolução nº 160, de 22 de abril de 2004**. Disponível em: https://www.ctbdigital.com.br/arquivos/anexo_II.pdf. Acesso em: 30 nov. 2022
- [23] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação**. Brasília, Brasil, 2022
- [24] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume II – Sinalização Vertical de Advertência**. Brasília, Brasil, 2022
- [25] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume III – Sinalização Vertical de Indicação**. Brasília, Brasil, 2022
- [26] BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Norma ABNT NBR 5101: Iluminação pública — Procedimento**. Rio de Janeiro, Brasil, 25 out. 2018
- [27] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Instrução de Projeto: Projeto de Iluminação de Rodovias (IP-DE-E00/001)**. São Paulo, Brasil, 2023

- [28] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Instrução de Projeto: Projeto de Instalações Elétricas (IP-DE-E00/002)**. São Paulo, Brasil, set. 2005
- [29] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Especificação Técnica: Materiais e Equipamentos para Iluminação de Rodovias (ET-DE-E00/001)**. São Paulo, Brasil, 2023
- [30] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Especificação Técnica: Serviços para Iluminação de Rodovias (ET-DE-E00/002)**. São Paulo, Brasil, 2023



PROJETO SEGURO DAS LATERAIS DAS VIAS

As laterais das vias compõem os entornos da plataforma viária, fazendo parte da faixa de domínio das rodovias e, como tal, também devem ser objeto de um projeto seguro de rodovias. Em geral, compreendem os acostamentos, dispositivos de drenagem, taludes, acessos, zona livre lateral, vegetação, rampas de escape, pilares de obras de arte, mobiliário rodoviário e postes de iluminação e de sinalização vertical.

É comum que projetos rodoviários se restrinjam, basicamente, aos elementos da plataforma viária. Assim, as laterais das vias ficam relegadas à condição de mera consequência da terraplanagem e da drenagem implantada, sem maiores considerações quanto a um projeto com ênfase na Segurança Viária dos entornos da rodovia.

Conforme discutido no “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”, a ocorrência de acidentes em rodovias não se restringe à faixa de rolamento. Há, também, um número significativo de acidentes que envolvem saídas de pista, capotamentos e choques com objetos fixos presentes nas laterais das vias. Sendo assim, um projeto seguro deve ir além da plataforma viária, integrando o desenvolvimento de projetos do entorno da rodovia principal. Desse modo, as laterais da via devem ser projetadas para acomodar, com segurança, os veículos em eventuais

situações de saída de pista, reduzindo as ocorrências e as consequências desse tipo de acidente [1].

Este capítulo apresenta as melhores práticas nacionais e internacionais para o projeto seguro das laterais das vias, bem como, indica os elementos que devem ser considerados para a segurança dos usuários em saídas de pista, além de recomendar parâmetros de projeto.

8.1 Determinação de zona livre lateral em rodovias

A zona livre lateral, também chamada de zona de segurança, é uma área sem obstruções e objetos fixos, adjacente às seções da rodovia, com largura adequada e terreno relativamente plano e nivelado. O projeto da zona livre lateral é um dos elementos de Segurança Viária constituintes do conceito de “rodovias que perdoam”¹, e deve ser implantado com o objetivo de minimizar a ocorrência e as consequências de acidentes viários que envolvem saída de pista, independentemente de qual seja o motivo do veículo deixar a rodovia [2].

De acordo com a “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança”, o DER/SP recomenda o dimensionamento de uma área livre nas laterais da via, sem elementos de risco e com pouca declividade, para garantir a segurança de veículos em situações de saída de pista e evitar a ocorrência de queda em terreno inferior [2]. É importante considerar a inclinação do terreno nas laterais das vias, pois quanto maior a declividade lateral, maior a probabilidade do veículo se deslocar lateralmente ao sair da pista. Ainda, taludes com declividade muito acentuada podem agravar as consequências de um acidente, provocando capotamento do veículo.

Quando bem dimensionada, ou seja, sem quaisquer obstáculos e com declividade suave, a zona livre lateral pode ser atravessada com segurança e, por isso, dispensa a implantação de dispositivos de contenção² [4]. A existência de uma faixa de terreno

¹ Conceito abordado com mais detalhes no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias”.

² Dispositivos de contenção são abordados no item “8.3 — Dispositivos de contenção”.

livre de elementos de risco permite ao condutor a possibilidade de executar, com segurança, manobras de controle ou parada do veículo fora da pista, em situações de risco [3]. Dessa forma, toda rodovia deve providenciar, ao máximo possível, uma zona livre de impactos de modo a aumentar a Segurança Viária nas laterais das vias.

A largura da zona livre é determinada em função da velocidade de projeto, do Volume Diário Médio (VDM) e da declividade lateral dos taludes, assim como das curvas horizontais [5]. Quanto maior a velocidade de projeto, o VDM ou a declividade do talude de aterro, maior a largura de área livre necessária. A combinação de todos esses elementos aumenta significativamente o resultado deste dimensionamento. Taludes de corte apresentam largura da zona livre menores que taludes de aterro, quando comparados com a mesma velocidade de projeto, VDM e/ou declividade lateral do talude.

A recuperação de um movimento em um trecho em tangente é mais fácil do que em curvas [3]. Em projetos seguros de rodovias, as curvas horizontais são elementos críticos de Segurança Viária e impõem maior risco para ocorrência de acidentes adjacentes à faixa de rolamento, uma vez que a mudança de alinhamento pode desestabilizar o veículo e levá-lo para fora da via. Isso ocorre devido à ação física da força inercial, que faz com que o veículo tenha dificuldade em alterar seu movimento, bem como, pela resultante das forças atuantes sobre ele [6]. Nesse contexto, é desejável que as zonas livres laterais apresentem maior largura em seções curvas, para possibilitar a retomada de controle do veículo com conforto e segurança.

Para curvas horizontais com raio menor que 900 m é necessário ajustar a largura da zona livre por meio de fatores de correção, os quais variam entre 1,10 e 1,50, conforme o raio da curva e a velocidade de projeto [5]. Raios de curva menores exigem graus de correção maiores. Da mesma forma, quanto maior a velocidade de projeto, maior é o fator de correção para o incremento de largura da zona livre externa da curva.

Os fatores de correção podem ser aplicados para aumentar a largura da zona livre em segmentos de curvas horizontais que apresentem histórico de acidentes que comprove a necessidade. É possível aliar o incremento da largura da zona livre com o aumento da superelevação, se o projetista julgar mais adequado, de acordo com as condições climáticas e topográficas da região [5].

Assim, de acordo com recomendações da “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP, a largura segura da zona livre pode variar entre

2,00 m e 14,00 m para tangentes e curvas com raios acima de 900 m. A área externa de curvas horizontais com menos de 900 m de raio podem resultar em valores para a zona livre de 2,00 até 21,00 m de largura. A variação depende da velocidade de projeto, do VDM, do raio da curva horizontal, do tipo de talude e da sua declividade lateral [2].

Em termos gerais, o cálculo do dimensionamento de zonas livres, conforme a “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP, fornece valores referenciais de largura [2]. Portanto, não se considera o resultado do cálculo em termos absolutos, mas sim como um valor central, para o qual variações são esperadas e podem ser aceitas, conforme a necessidade de adequação ao projeto. Assim, a largura calculada deve ser usada como parâmetro de referência e pode ser ajustada para as condições específicas do local e em função da praticidade, desde que se mantenha próxima ao valor ideal [5].

A Figura 8.1 apresenta uma fotografia da Rodovia SPI-157/340, localizada na malha do DER no estado de São Paulo, com zona livre lateral desobstruída.

Figura 8.1: Exemplo de zona livre na rodovia SPI-157/340, da malha do DER/SP



Fonte: acervo DER/SP

A Figura 8.1 é um bom exemplo de uma “rodovia que perdoa”, onde se verifica a adoção de uma zona livre de obstruções nas laterais da via: sem obstáculos fixos,

taludes críticos, dispositivos de drenagens não traspassáveis, dispositivos de contenção ou suportes rígidos. Ao lado da faixa de rolamento pavimentada, se encontra um acostamento pavimentado, seguido por um terreno traspassável com vegetação rasteira — que compõe a largura da zona livre para o trecho de rodovia. Além disso, observa-se a presença de um canteiro central alargado e traspassável, separando o fluxo do sentido contrário.

8.2 Caracterização dos elementos de risco dentro da zona livre

As laterais das vias devem estar preparadas para acolher os veículos de forma segura, em caso de perda de controle e saída de pista. Nesse sentido, o acostamento é a primeira área de segurança a ser considerada, e sua configuração é um dos principais fatores que determinam o grau de severidade dos acidentes. Outros elementos que se encontram além dos acostamentos e dentro da zona livre podem potencializar as consequências de uma eventual perda de controle do veículo.

A presença de elementos de risco em maior quantidade pode provocar uma sobreposição de objetos e aumentar a ocorrência e a severidade dos acidentes. Os elementos de risco frequentemente associados como responsáveis por fatalidades nas laterais das vias são: árvores, postes de iluminação ou utilitários, colunas de pórticos, suportes rígidos de sinalização vertical e dispositivos de drenagem [1]. Por isso, um projeto seguro de rodovias deve prever tratamento de risco adequado aos diferentes tipos de elementos, ao risco de ocorrência e à severidade de acidentes, em conformidade com as normativas e boas práticas de projetos nacionais e internacionais.

Os elementos de risco consistem em elementos naturais ou construídos, situados próximos às laterais das vias, os quais podem impor altas desacelerações ou paradas abruptas de veículos errantes caso impactados [7]. Podem ser classificados em [2]:

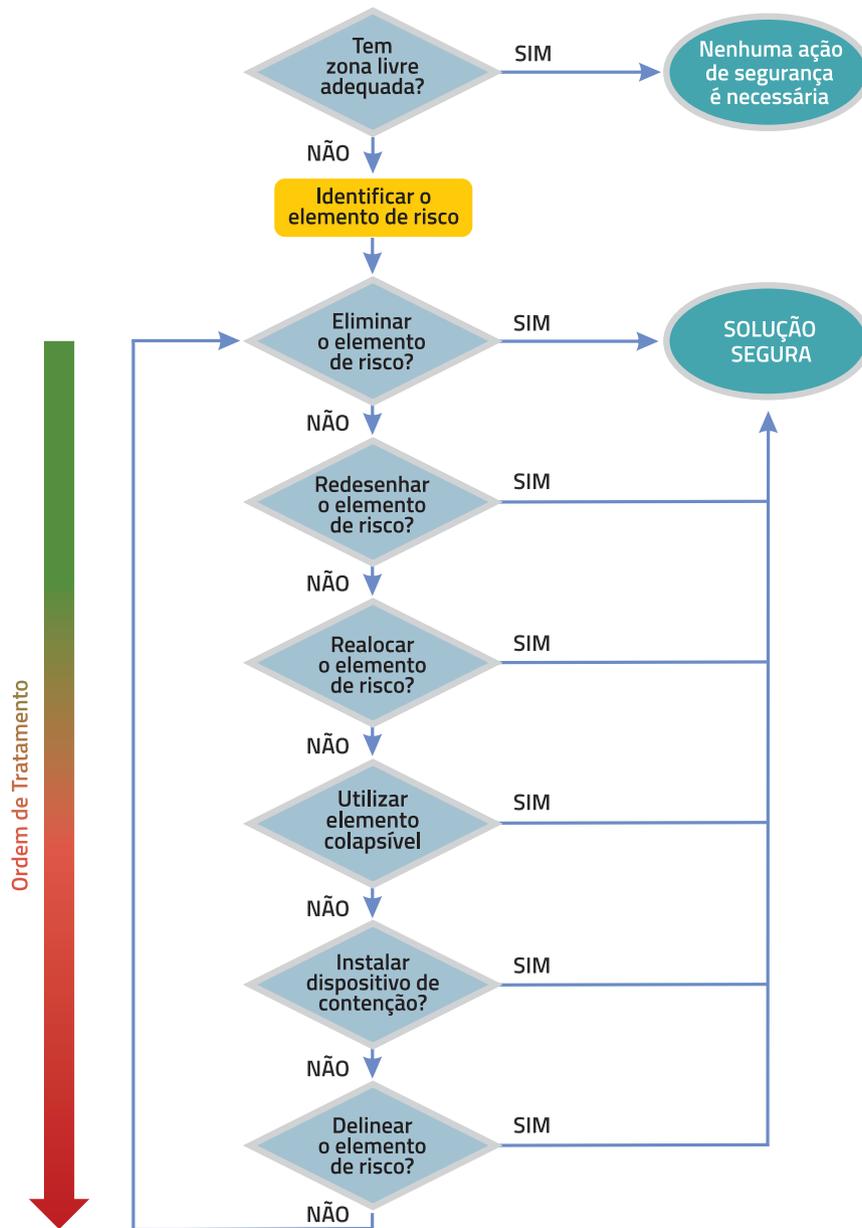
- a) Obstáculos pontuais: objetos estreitos e fixos, como árvores com diâmetro maior do que 10 cm, colunas de pórticos, postes de iluminação ou utilitários e suportes de sinalização vertical;

- b)** Obstáculos distribuídos ou contínuos: elementos que se estendem ao longo das laterais das vias, como taludes de aterro e corte, muros de contenção, rochas e barreiras de segurança que não atendem às normas atuais, bem como a vegetação fechada.

Ao projetar elementos localizados nas laterais das vias, o projetista deve considerar a importância de garantir uma zona livre lateral de largura adequada. Se houver elementos de risco dentro dessa área, é sempre preferível removê-los para garantir que o segmento da via seja traspassável e seguro. Caso não seja possível, os elementos devem ser tratados de acordo com normativas de segurança, seguindo uma ordem de prioridade de acordo com as seguintes alternativas de projeto [5]:

- a)** remover (eliminar) o elemento de risco;
- b)** redesenhar o elemento de risco de maneira que seja traspassável com segurança;
- c)** realocar o elemento de risco para um local com menor possibilidade de ser atingido;
- d)** reduzir a severidade do impacto utilizando dispositivo que não seja um obstáculo fixo;
- e)** proteger do perigo de atingir o elemento de risco utilizando dispositivo de contenção lateral ou dispositivo amortecedor de impacto autoportante;
- f)** delinear, ou sinalizar, o elemento de risco, caso não se possa cumprir as alternativas anteriores.

A Figura 8.2 apresenta o fluxograma que deve ser seguido para elaborar um projeto seguro das laterais das vias, incluindo a ordem de tratamento dos elementos de risco.

Figura 8.2: Fluxograma para projeto seguro das laterais das vias

Fonte: elaborado pelo autor com base em [2]

O primeiro passo é determinar a largura adequada da zona livre. O método de cálculo presente na “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP fornece um valor central para auxiliar o projetista na dimensão ideal da área livre [2]. O valor adequado para a largura da zona livre varia com as características locais, a velocidade e as especificações do projeto, devendo ser adotado um valor maior ou

igual ao valor calculado. A zona livre lateral deve ter terreno traspassável e não conter elementos de risco e restrições à segurança.

Posteriormente, é preciso avaliar se dentro da zona calculada existem obstáculos fixos, taludes críticos ou estruturas de drenagem não traspassáveis. Em caso positivo, deve-se tratar os riscos identificados, seguindo a ordem de prioridade supracitada. A identificação do tipo de elemento de risco e suas características também são importantes para determinar a melhor solução de projeto.

Idealmente, é desejável remover todos os elementos que impeçam os usuários da via de utilizar a área com segurança em situações de emergência. Afinal, obstruções à zona livre calculada são potencializadores dos riscos de acidentes, pois, em caso de saída de pista, podem aumentar a severidade do acidente devido ao impacto do veículo com os objetos rígidos. Porém, uma zona livre de obstruções pode não ser viável em todas as seções da via, em termos funcionais, práticos e/ou econômicos. Assim, se não for possível eliminar o elemento de risco, deve-se redesenhá-lo para que possa ser atravessado de maneira segura. Um exemplo que pode ser mencionado é a alteração da seção de projeto de estruturas de drenagem longitudinais para que sejam traspassáveis. Outra alternativa é redesenhar as estruturas de drenagem transversais, para que seu início e fim coincidam com a declividade dos taludes de aterro, tornando-as traspassáveis com segurança.

Na hipótese de não conseguir redesenhar, é necessário verificar se o elemento de risco pode ser realocado para um local com menor possibilidade de acidente. Uma situação típica é a necessidade de mover as instalações de postes de transmissão de energia para locais mais afastados, fora da zona livre lateral, de forma que a área se torne traspassável e sem obstruções que possam prejudicar a Segurança Viária.

Nos casos em que nenhuma das soluções apresentadas possam ser adotadas, sugere-se o uso de suportes que não se constituam em obstáculos fixos, uma vez que são feitos de materiais menos rígidos e que podem minimizar o impacto da colisão, diminuindo a severidade do acidente. Esses materiais são projetados para se romperem de forma previsível e têm fácil implantação em suportes de sinalização vertical (placas), suportes de luminárias e postes utilitários.

Se, ainda assim, não for possível desobstruir a zona livre, devem ser adotados equipamentos de segurança passiva, como os dispositivos de contenção lateral e dispositivos amortecedores de impacto, como forma de proteger os veículos dos possíveis perigos provocados pela presença dos elementos de risco e reduzir a severidade dos acidentes. Embora, na prática, esses dispositivos sejam frequentemente utilizados para diferentes tipos de elementos de risco, sua implantação deve ser avaliada com cautela. Em muitos casos, a implantação do dispositivo de contenção viária implica na redução da área lateral disponível para uso em caso de emergência. Assim, um projeto seguro das laterais das vias deve limitar a instalação de dispositivos de contenção para casos em que outras soluções mais seguras não são viáveis.

Por fim, se não for possível implantar nenhuma das soluções propostas, é obrigatório delinear e sinalizar o elemento de risco. Um exemplo é a utilização de sinalização horizontal e vertical (marcadores de perigo, marcadores de obstáculos, zebrados e/ou delineadores) para alertar condutores sobre um obstáculo na via ou em suas laterais, como restrição de gabarito horizontal e vertical, estreitamento de uma ponte, presença de drenagem não traspassável ou alterações bruscas de geometria. O uso da sinalização viária contribui para alertar os condutores sobre a presença de elementos de risco na rodovia e pode minimizar o risco de choques com objetos fixos, contudo não deve ser entendido como uma solução que elimina o problema.

Além de respeitar a ordem de tratamento de riscos, devem ser verificadas as soluções para cada tipo de elemento. A seguir são apresentadas as características e as melhores práticas para os diferentes elementos de risco comumente encontrados nas laterais das vias. Ressalta-se que, nos casos em que não é possível eliminar os riscos relativos aos elementos descritos a seguir, a ordem de prioridade para tratamento de locais de risco descrita neste item (“8.2 — Caracterização dos elementos de risco dentro da zona livre”) deve ser seguida.

8.2.1 *Elementos naturais*

Os elementos naturais referem-se a árvores (com diâmetro de base maior do que 10 cm), rochas e vegetação que, em geral, são obstáculos fixos [7] capazes de produzir desacelerações acentuadas ou paradas abruptas, constituindo riscos distribuídos ou pontuais.

O plantio de árvores ao longo das rodovias não deve ocorrer dentro da zona livre lateral, uma vez que podem se tornar elementos de risco e prejudicar a segurança dos usuários que trafegam nas vias. Muitas vezes, os obstáculos naturais são protegidos por leis ambientais e não podem ser removidos nem realocados. Contudo, sempre que possível, deve-se considerar a remoção desses elementos dentro da zona livre de segurança. Uma solução comumente utilizada para proteger os veículos de choques com os obstáculos, em situações nas quais os elementos naturais não podem ser removidos, redesenhados ou realocados é utilizar dispositivos de contenção ou amortecedores de impacto [3].

8.2.2 *Suportes de sinalização vertical, de iluminação ou utilitários*

Postes de iluminação ou utilitários, suportes de sinalização e colunas de pôrticos, em geral, são exemplos de obstáculos pontuais que podem apresentar risco para os usuários [3]. Esses obstáculos são mais difíceis de serem realocados para fora da zona livre lateral, uma vez que devem estar situados próximos à rodovia para cumprirem suas funções [1]. Assim, recomenda-se o uso de suportes que não constituem obstáculos fixos nesses dispositivos, para que em situações de saída de pista de um veículo, o obstáculo seja frágil o suficiente para reduzir as consequências do impacto e romper de maneira previsível [7].

Suportes colapsíveis são projetados para ceder, deslizar ou romper assim que forem atingidos, por meio do uso de mecanismos com elementos de fratura, base deslizante, dobradiças ou combinações entre eles. O uso desses dispositivos torna os postes ou suportes passivamente seguros, devendo apresentar uma base remanescente com no máximo 10 cm de altura [7].

Nos casos em que o uso dos suportes que não constituem obstáculos fixos não for praticável, deve-se estudar a possibilidade de implantação dos postes ou suportes atrás de dispositivos de contenção lateral já instalados ou em áreas inacessíveis ao tráfego de veículos, onde a possibilidade de serem atingidos é menor. Conforme “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP, pode-se utilizar dispositivo de contenção longitudinal ou dispositivo amortecedor de impacto adequado para a proteção dos suportes [2].

Por fim, pórticos e semipórticos são obstáculos fixos de maior porte, nos quais não são utilizados suportes colapsíveis. Dessa forma, devem estar protegidos por sistemas rígidos de contenção, pois suas estruturas não podem colapsar em caso de choque.

8.2.3 *Obras de arte e pilares de viadutos*

Estruturas de obras de arte especiais, como pilares de pontes e viadutos, podem estar localizadas no canteiro central e/ou nas laterais das vias, geralmente dentro da zona livre lateral. Encabeçamento (entrada) de túneis e pontes e início de barreiras de contenção da obra de arte especial também são tipos de estruturas que causam obstruções à zona livre lateral [3].

Como são estruturas rígidas e de grande porte, devem ser cuidadosamente incluídas no projeto geométrico das rodovias e obras de arte especiais, para minimizar os riscos à Segurança Viária. Na fase de projeto, deve-se buscar a eliminação dos obstáculos fixos, procurando afastar os pilares e colunas laterais, eliminando apoios centrais quando possível e evitando a implantação em divergências. Essas são alternativas que aumentam consideravelmente a segurança para os usuários das vias.

Contudo, ao se tratar de rodovias existentes, muitas vezes os projetos podem ser inviáveis em termos técnicos e econômicos. Por isso, recorre-se à proteção dos obstáculos por meio de dispositivos de contenção ou amortecedores de impacto. De qualquer forma, as medidas a serem adotadas para a proteção dos pilares devem ser muito bem estudadas e dimensionadas, visto que esses elementos possuem grandes dimensões e rigidez, podendo resultar em acidentes graves se atingidos por veículos. Além disso, esses elementos devem ser protegidos dos veículos pois as estruturas podem apresentar risco de desabamento.

Em estruturas antigas e em pontes estreitas com guarda corpos frágeis, deve-se ter atenção à segurança dos usuários, sendo necessário adequar os guarda corpos existentes, inclusive reforçando a estrutura e alargando o acostamento.

8.2.4 *Canteiro central*

O canteiro central das rodovias também pode ser considerado como uma área de risco em situações de perda de controle de veículos. A ordem de tratamento dos riscos da lateral da via mencionada no item “8.2 — Caracterização dos elementos de risco dentro da zona livre” também deve ser considerada para a adequação dos canteiros centrais e proteção dos usuários das vias, com um requisito adicional ao risco de um veículo sair da faixa de rolamento, ultrapassar o canteiro central, invadir a pista contrária e impactar um veículo no sentido oposto. Quando necessário, devem ser adotados dispositivos de contenção central, conforme os mesmos requisitos e recomendações de implantação e de dimensionamento desses dispositivos [2].

A “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP orienta a implantação de dispositivo de contenção central para vias de alta velocidade com canteiros atravessáveis, de acordo com a largura do canteiro e o VDM da via [7]. Para canteiros centrais de até 10,00 m e VDM acima de 20 mil, recomenda-se a instalação de barreiras de proteção. Para canteiros de 10,00 a 15,00 m e VDM acima de 20 mil, deve ser considerada a necessidade de instalar barreiras. Já para outros casos, o uso de barreiras de proteção é opcional e a implantação depende de outras condições do local. Para canteiros largos e com VDM baixos, sem outras condicionantes locais que incrementem risco aos usuários, a barreira pode ser desaconselhada, uma vez que os veículos têm área suficiente para retomar o controle em caso de saída de pista.

Em segmentos rodoviários com canteiro central, em pistas com diferença de elevação em taludes não-recuperáveis ou críticos³, a ocorrência de acidentes pode resultar em maior severidade. Portanto, deve-se instalar dispositivos de contenção longitudinal na parte mais alta, evitando a queda na pista oposta [2].

8.2.5 *Instalações de apoio*

Instalações e equipamentos de apoio à rodovia são comumente encontrados nas laterais das vias. Podem ser do tipo *call boxes*, SAUs e UBAs, edificações de controle de tráfego ou instalações e cabines de pedágio. A presença desses equipamentos ao longo do segmento viário é fundamental, visto que servem como pontos de referência e de

³ Ver definição de taludes não-recuperáveis e críticos no item “8.2.6.1 — Taludes de aterro”.

apoio para os motoristas, bem como, auxiliam os gestores na operação, controle e fornecimento de serviços aos usuários.

Entretanto, essas instalações podem ser consideradas como elementos de risco dentro da zona livre lateral. Para fornecer melhores condições de segurança aos usuários das vias, os suportes para câmeras, sensores e outros dispositivos ITS, por exemplo, podem utilizar suportes colapsíveis ou serem implantados atrás de dispositivos de contenção já existentes [3]. Caso não seja possível, pode ser projetado dispositivo de contenção especificamente para essas instalações.

Já as instalações de apoio à operação e controle da rodovia, que consistem em edificações, apresentam maior risco aos usuários das rodovias, uma vez que são elementos grandes e rígidos e a magnitude do impacto e da severidade do acidente é, possivelmente, aumentada. Assim, devem ser instalados o mais longe possível da faixa de tráfego, respeitando a zona livre lateral. Se não for possível, devem receber proteção por dispositivos de contenção viária.

8.2.6 *Taludes*

Para adequar o traçado das rodovias à topografia do terreno, em alguns locais, as laterais das vias apresentam declividades negativas (taludes de aterro) ou positivas (taludes de corte). Há, também, seções com inclinação frontal à rodovia, devido à existência de uma via lateral que a corta (taludes transversais) [1]. Nesse sentido, os taludes podem ser categorizados como taludes de aterro, taludes de corte ou taludes transversais.

8.2.6.1 *Taludes de aterro*

Os taludes de aterro são componentes importantes para a segurança das laterais das vias, sendo necessário verificar a necessidade de protegê-los com dispositivos de contenção lateral. Devem ser considerados fatores como a altura e a declividade lateral do talude para a determinação do uso da proteção lateral. Os taludes de aterro podem ser subdivididos em taludes recuperáveis, taludes não recuperáveis e taludes críticos. Em geral, com declividade acentuada (taludes críticos) exigem o uso de contenções laterais. Também precisam de proteção taludes não recuperáveis que apresentam elementos

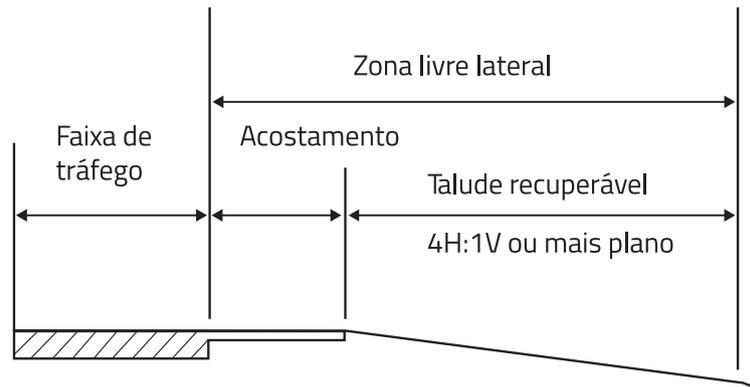
de risco no pé do talude. Por outro lado, taludes recuperáveis ou não recuperáveis, que não contenham elementos de risco, não exigem a implantação de contenção lateral [2], [3]. O Quadro 8.1 apresenta os três diferentes tipos de taludes de aterro.

Quadro 8.1: Tipos de taludes de aterro

Taludes recuperáveis	São taludes mais planos, com declividade lateral de até 1V:4H. Não exigem contenção lateral, pois permitem ao motorista executar manobras de recuperação e parada do veículo em caso de saída de pista. É fortemente desaconselhada a presença de elementos de risco, como dispositivos de drenagem ou outros elementos protuberantes, acima do aterro.
Taludes não-recuperáveis	Têm declividade lateral entre 1V:4H e 1V:3H. Apesar de serem percorráveis, o condutor não consegue retornar à faixa de rodagem facilmente, sendo esperado que o veículo chegue ao fundo do talude. Não devem existir elementos de risco ao longo das encostas e é recomendada uma área de escape sem obstruções no fundo do talude. Se isso não for possível, deve-se projetar um dispositivo de contenção.
Taludes críticos	São encostas mais íngremes, com declividade lateral maior ou igual a 1V:3H. Devem ser projetados e tratados com cautela, já que podem incorrer em capotamentos ou queda de veículos no caso de saídas de pista. A “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP apresenta os parâmetros para a determinação do uso de dispositivos de contenção lateral.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [3] e [7]

Dessa forma, sempre que possível, deve-se projetar taludes recuperáveis, de modo a evitar a utilização de dispositivos de contenção lateral [2]. A Figura 8.3 apresenta um exemplo de seção transversal com zona livre lateral em talude recuperável.

Figura 8.3: Exemplo de seção transversal em talude de aterro recuperável

Fonte: elaborado pelo autor com base em [2]

Conforme apresentado no exemplo, a zona livre lateral é composta pelo acostamento da rodovia e seu entorno, de acordo com a largura adequada para o local. É recomendável que a área após o acostamento seja um talude de aterro recuperável, pois permite ao veículo trafegar pela lateral da via com maior segurança em caso de emergência.

8.2.6.2 Taludes de corte

A capacidade dos taludes de corte serem traspassáveis depende da suavidade e uniformidade relativa da superfície, bem como, da existência de obstruções por elementos fixos na zona livre lateral. Os cortes em rochas se constituem em risco aos usuários se apresentarem laterais protuberantes, já que podem causar um enganchamento dos veículos no lugar de promover um redirecionamento suave [5], além de reduzir a visibilidade em trechos curvos.

É necessário verificar as canaletas de pé de corte, cuja parte frontal deve acompanhar o terreno frontal recuperável e traspassável e a parte posterior deve acompanhar a declividade do talude de corte. Caso contrário, os taludes devem ser tratados com dispositivos de contenção viária longitudinal [2].

8.2.6.3 *Taludes transversais*

Taludes transversais são aqueles que se apresentam perpendicularmente à via, criados principalmente por acessos laterais, interseções ou em cruzamentos de canteiro central. Apresentam risco elevado, pois são locais que podem ser atingidos frontalmente por veículos errantes [1], [5].

Para vias de alta velocidade, o talude transversal (frontal à via) deve ter declividade de 1V:6H ou menos, especialmente para aqueles localizados imediatamente adjacentes ao tráfego. É possível projetar taludes mais inclinados, conforme se aumenta o afastamento lateral. Taludes transversais mais inclinados do que 1V:6H podem ser considerados em áreas urbanas ou vias de baixa velocidade [2].

Em taludes transversais, a presença de estruturas de drenagem dentro da zona livre lateral da via deve ser compatibilizada com a declividade lateral dos taludes, de forma que se torne traspassável. Se não for possível, recomenda-se deslocar as canaléticas de drenagem para que o bueiro fique instalado fora da zona livre.

Caso haja um talude transversal (frontal à rodovia) que apresente possibilidade de queda de veículos em passagem inferior ou rio, deve ser prevista uma distância mínima de parada atrás dos dispositivos de contenção para que o veículo não sofra queda.

8.2.7 *Dispositivos de drenagem*

As estruturas de drenagem devem ser traspassáveis, de modo a não se tornarem elementos de risco. Devem ser projetadas, construídas e mantidas, considerando, além da eficiência hidráulica, a segurança das laterais das vias. Em geral, recomenda-se [7]:

- a) projetar ou modificar as estruturas de drenagem para serem atravessáveis ou pelo menos reduzirem o risco em caso de choque; caso contrário,
- b) proteger as estruturas com dispositivos de contenção se estiverem dentro da zona livre.

A Figura 8.4 apresenta uma situação de seção da rodovia com a estrutura de drenagem não traspassável, havendo a necessidade de medidas adicionais para garantir a proteção dos usuários.

Figura 8.4: Necessidade de proteção dos usuários em estrutura de drenagem não traspassável



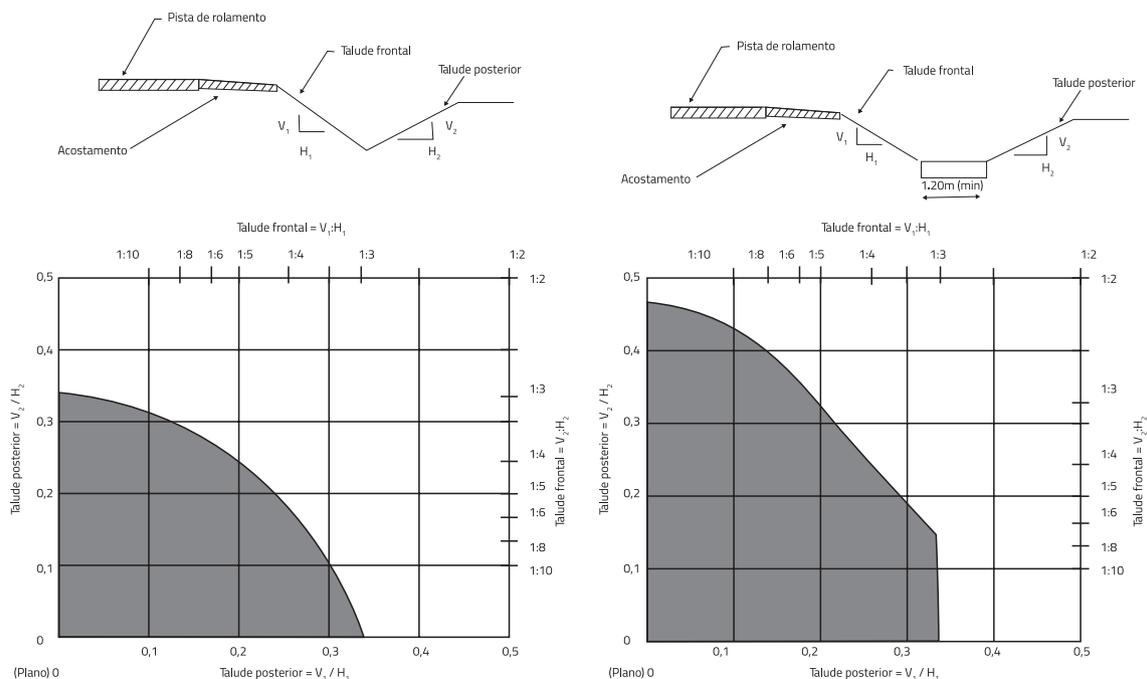
Fonte: acervo DER/SP

Segmentos de rodovias que apresentam drenagem transversal não traspassável, como a ilustrada na Figura 8.4, exigem a implantação de dispositivos de contenção longitudinal, a fim de proteger os usuários da rodovia e evitar queda do veículo em terreno inferior ou impacto com estruturas rígidas, em casos de saída de pista.

8.2.7.1 *Drenagem lateral*

Os canais de drenagem lateral devem ser traspassáveis, considerando parâmetros de projeto como a declividade do talude frontal e do talude posterior [2]. A Figura 8.5 apresenta os âbacos para definir as seções traspassáveis preferenciais para canais de drenagem.

Figura 8.5: Ábacos para definir as seções transversais traspassáveis da drenagem lateral



Fonte: adaptado de [5]

Seções fora da zona marcada são menos recomendadas e, portanto, sugere-se redesenhar as seções ou converter os canais em sistemas fechados ou, ainda, implementar dispositivos de contenção [2], [5].

8.2.7.2 Estruturas de drenagem

As estruturas de drenagem compreendem outros dispositivos de drenagem além dos canais e canaletas, tais como guias, caixas de captação e linhas de tubos transversais e paralelos. Recomenda-se que as estruturas de drenagem sejam traspassáveis ou realocadas o mais longe possível da faixa de rolamento [5]. O Quadro 8.2 apresenta os diferentes elementos de drenagem presentes nas vias.

Quadro 8.2: Estruturas de drenagem

Elemento	Descrição	Imagem
Guias e sarjetas	<p>As guias podem ser verticais ou inclinadas. Em rodovias, recomenda-se que não ultrapassem 10 cm de altura e tenham face inclinada, para serem facilmente percorridas, não rasparem o assoalho de veículos errantes e reduzirem o risco de decolagem em caso de impactos. Alturas de até 15 cm podem ser toleradas em vias secundárias ou locais com baixas velocidades.</p> <p>A declividade das sarjetas deve ser preferencialmente recuperável (até 1V:4H).</p> <p>Na presença de dispositivos de contenção, devem ficar obrigatoriamente atrás da proteção.</p>	
Drenagem transversal à via	<p>A drenagem transversal à rodovia é uma estrutura que leva águas drenadas por baixo do aterro e o bueiro se localiza na lateral de um talude paralelo à via. As estruturas devem ser chanfradas para que sejam traspassáveis e não constituírem um obstáculo. É recomendado compatibilizar a declividade do início e do fim das estruturas de drenagem transversal com as declividades dos taludes. Se não for possível, deve-se estender a estrutura até um local fora da zona livre. Em último caso, deve-se instalar dispositivos de contenção.</p>	
Drenagem paralela à via	<p>Consistem em dispositivos de drenagem orientados paralelamente ao fluxo de tráfego da rodovia principal para transportar pequenos fluxos até que a água possa ser descarregada em outras instalações de drenagem. Devem ser traspassáveis, com declividade semelhante à declividade do talude para que não representem um elemento de risco na lateral da rodovia, se vierem a ser atingidas por veículos. Em último caso, devem ser protegidas por dispositivos de contenção.</p>	

Elemento	Descrição	Imagem
Caixas de captação	São elementos de drenagem laterais ao pavimento e geralmente estão localizadas fora da plataforma. Recomenda-se a construção na altura do solo ou no fundo do canal de drenagem. É fundamental que a estrutura não ultrapasse a altura de 10 cm em relação ao nível do terreno para que seja traspassável. Caso não ocorra, deve ser instalada atrás de dispositivos de contenção, por se constituir um elemento de risco dentro da zona livre. Caso seja necessário que a captação seja feita à frente de barreiras de contenção, deve-se utilizar grelhas niveladas ao pavimento.	

Fonte: elaborado pelo autor com base em [2], [5] e [7]

8.2.8 *Outros pontos de risco*

Além dos elementos de risco presentes na zona livre lateral, deve-se atentar aos elementos que possam estar na pista de rolamento, como ilhas e cabines de pedágio e bifurcações. Obstáculos frontais presentes na rodovia e bifurcações têm como solução de segurança a implantação de amortecedores de impacto, considerando a eventual falha em reduzir a velocidade de aproximação e a possibilidade de impactos frontais.

As Figuras 8.6 e 8.7 apresentam dispositivos amortecedores de impacto implantados para proteger os veículos de pontos de risco na entrada de uma praça de pedágio e em uma bifurcação.

Figura 8.6: Exemplo de uso de dispositivo amortecedor de impacto em praça de pedágio



Fonte: [8]

Figura 8.7: Exemplo de uso de dispositivo amortecedor de impacto em bifurcação



Fonte: acervo DER/SP

Locais com interrupção da continuidade do terreno lateral, como pontes e viadutos, devem prever proteção no início da barreira da obra de arte especial, com sua respectiva transição e terminal de início. Adicionalmente, deve ser prevista distância de parada adequada para que o veículo possa se deter antes da queda.

O tratamento de elementos ou áreas de risco presentes na plataforma viária demanda o uso de dispositivos de contenção ancorados à estrutura de proteção da obra de arte com lâmina do tipo tripla onda com terminal de início seguro e/ou amortecedores de impacto. A Figura 8.8 apresenta um exemplo de transição adequada entre defesa e barreira de proteção.

Figura 8.8: Exemplo de uso de dispositivo de contenção lateral em uma ponte



Fonte: acervo DER/SP

8.3 Dispositivos de contenção viária

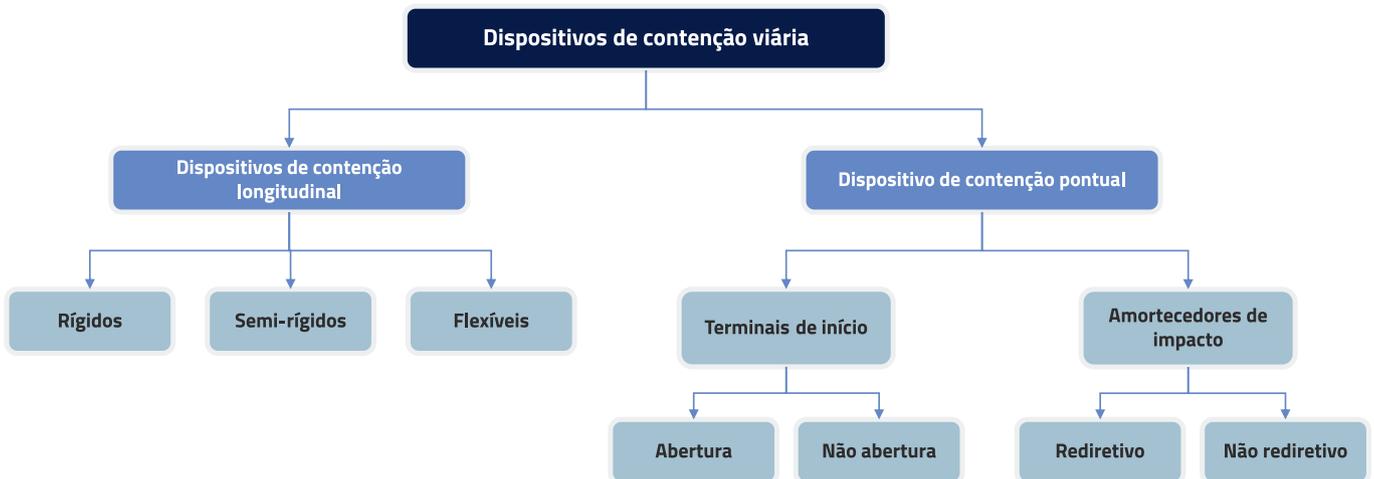
Dispositivos de contenção viária são sistemas de proteção instalados nas laterais das vias para que veículos errantes não se choquem com obstáculos fixos ou atinjam áreas de risco, atuando de forma a conter e redirecionar veículos desgovernados e, em alguns casos, absorver ou dissipar a energia cinética do impacto. Apesar de serem dispositivos

de proteção, não eliminam o risco de acidentes nem o impacto dos veículos, sendo somente uma forma de evitar danos aos usuários das vias e mitigar as consequências dos acidentes [7].

Os projetistas devem realizar o tratamento dos elementos de risco para favorecer uma zona livre lateral desobstruída e traspassável, com largura e declividade adequadas. Seguindo as recomendações de prioridade de tratamento do item “8.2 — Caracterização dos elementos de risco dentro da zona livre”, deve-se avaliar se o elemento de risco pode ser removido, se não, redesenhado, ou até mesmo realocado para um local onde tenha menor risco de ser atingido. Se essas soluções não forem viáveis, deve-se reduzir a rigidez dos suportes de placas e luminárias ou, em último caso, instalar dispositivos de contenção para proteger os usuários dos riscos laterais.

Portanto, a utilização de dispositivos de proteção deve ser vista com cautela e esses elementos devem ser implantados somente nos casos em que alternativas mais simples e seguras não possam ser adotadas devido a restrições locais. Ao decidir por instalar dispositivos de contenção, deve-se obedecer aos critérios de projeto, de posicionamento e de implantação, consoante ao tipo, estrutura, dimensão e afastamento do obstáculo fixo e ao tipo de proteção que ele solicita: longitudinal ou pontual (amortecedor de impacto). Os tipos de dispositivos de contenção viária estão indicados na Figura 8.9. Ressalta-se que as extremidades das barreiras de contenção devem receber terminais de início seguros [3].

Figura 8.9: Tipos de dispositivos de contenção viária



Fonte: elaborado pelo autor

8.3.1 Dispositivos de contenção longitudinal

São sistemas instalados longitudinalmente à rodovia, nas suas laterais, em canteiros centrais ou nas laterais de pontes. Distinguem-se em [7]:

- a) Dispositivos de contenção lateral: visam a impedir que veículos errantes saiam da pista e atinjam obstáculos fixos, áreas de risco ou taludes com declividade lateral acentuada. Servem para conter e redirecionar os veículos com segurança;
- b) Dispositivos de contenção central: são dispositivos instalados em canteiros centrais, que previnem que um veículo sem controle venha a atingir obstáculos fixos, terrenos não traspassáveis, pistas em desnível ou até mesmo veículos no sentido oposto. Seguem as mesmas formas e critérios que os dispositivos de contenção lateral, e também são usados para separar o tráfego em sentidos contrários;
- c) Dispositivos de contenção sobre pontes, viadutos e outras estruturas: são sistemas de contenção empregados nas laterais da pista com o objetivo de impedir que veículos saiam da pista de rolamento e sofram queda. Para pontes e viadutos deve-se utilizar o dimensionamento previsto na Norma ABNT NBR 7188 [9], que considera carregamentos mais elevados que a Norma ABNT NBR 15486 [7], resultando em estruturas mais robustas. Todos os pilares devem ser protegidos por dispositivos de contenção apropriados quando expostos ao tráfego.

Deve-se avaliar se o impacto contra os dispositivos de contenção implantados reduz efetivamente a severidade e as consequências dos choques; isto é, se o impacto contra o dispositivo é menos severo do que se chocar contra o obstáculo fixo ou acessar a área de risco sem a proteção.

8.3.1.1 Classificação dos dispositivos de contenção

Os dispositivos de contenção longitudinais têm o papel de conter e redirecionar, de forma segura, os veículos que perdem controle e saem da pista. Para tanto, existem

diferentes níveis de contenção veicular, conforme os veículos para os quais os dispositivos são projetados.

Dispositivos de contenção devem ser ensaiados e aprovados conforme normas internacionais padronizadas para uniformizar os critérios de aprovação e certificação. Os ensaios são realizados considerando a massa do veículo, ângulo, posição e velocidade de impacto, conforme determinado pelas normas internacionais NCHRP 350/MASH e EN1317, previstas na “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP [2].

A partir dos ensaios de impacto realizados em escala real são avaliados critérios de segurança, como a severidade do impacto para os ocupantes do veículo, o comportamento do veículo pós impacto, bem como, a suficiência estrutural do dispositivo de contenção — que deve suportar os impactos para o qual foi projetado. A severidade do impacto considera a desaceleração dentro de parâmetros suportáveis pelo corpo humano, sendo refletida nos índices:

- ASI (Índice de Severidade da Aceleração) e THIV (Velocidade Teórica de Impacto da Cabeça)⁴, especificados na Norma EN1317; ou
- OIV (Velocidade de Impacto do Ocupante) e ORA (Desaceleração do Ocupante)⁵, segundo a Norma NCHRP 350/MASH.

Durante os ensaios de impacto são medidos os parâmetros que caracterizam o dispositivo de contenção, como a deflexão dinâmica, o espaço de trabalho e a intrusão, que determinam a posição de implantação à frente dos elementos de risco.

8.3.1.2 Seleção dos dispositivos de contenção

Quando for necessário instalar dispositivos de contenção, deve ser selecionado um sistema que tenha o nível de contenção exigido, por segmento homogêneo da rodovia ou em locais críticos que requerem mais atenção. Para definir os segmentos homogêneos das rodovias, devem ser considerados os seguintes fatores [2]:

⁴ Em inglês, *Acceleration Severity Index* e *Theoretical Head Impact Velocity*, respectivamente.

⁵ Tradução livre de *Occupant Impact Velocity* e *Occupant Ridedown Acceleration*, respectivamente.

- a) velocidade de projeto da via;
- b) volume e composição de tráfego (porcentagem de veículos pesados);
- c) características físicas da via e do seu entorno, como geometria com curvas acentuadas, baixa distância de visibilidade e condições das laterais da rodovia;
- d) consequências do incidente, caso veículos pesados atravessem o sistema de contenção e venham a atingir locais com risco alto;
- e) natureza do risco e dos obstáculos fixos existentes;
- f) estatísticas de acidentes;
- g) natureza e facilidade de manutenção dos dispositivos implantados após serem atingidos.

A seleção do dispositivo de contenção deve compreender o seguinte procedimento, detalhado na “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP [2]:

- (1) Calcular a zona livre lateral da rodovia. Em função das condições geométricas da via e seus entornos, se a zona de segurança calculada for traspassável e estiver sem obstruções, não será necessária a implantação de dispositivos de contenção veicular.
- (2) Verificar a necessidade de dispositivos de contenção em função da presença de obstáculos fixos dentro da zona livre calculada, conforme a existência de: elementos apresentados nos itens “8.2.1 — Elementos naturais”, “8.2.2 — Suportes de sinalização vertical, de iluminação ou utilitários”, “8.2.3 — Obras de arte e pilares de viadutos”, “8.2.5 — Instalações de apoio” e “8.2.8 — Outros pontos de risco”; taludes críticos dentro da zona livre (item “8.2.6 — Taludes”); estruturas de drenagem que acarretam risco aos usuários (item “8.2.7 — Dispositivos de drenagem”); características do canteiro central da rodovia (item “8.2.4 — Canteiro central”); e em função de obras de longa e média duração na rodovia, presença de usuários vulneráveis em áreas lindeiras à rodovia dentro da zona livre ou ao final de taludes não recuperáveis expostos ao tráfego.

- (3)** Havendo a necessidade da implantação de dispositivos de contenção pelos fatores analisados na etapa anterior, deve-se prosseguir a análise de modo a determinar qual o nível de contenção requerido para a rodovia, por segmentos homogêneos ou por demandas pontuais, sendo: nível de contenção, espaço de trabalho e intrusão. Se houver sistemas similares, pode-se optar pelo de índice de severidade da aceleração mais suave.
 - (i) Verificar a classe da rodovia e a velocidade diretriz.
 - (ii) Verificar as características geométricas de implantação da via em terreno plano, ondulado ou montanhoso. Considerar por segmentos homogêneos ou em demandas pontuais.
 - (iii) Determinar o risco e as consequências dos acidentes no segmento em análise, podendo ser risco “normal” ou “elevado”. Nesta etapa deve-se considerar o histórico de acidentes no local, bem como, a prevalência de condições climáticas adversas.
 - (iv) Escolher o nível de contenção a ser considerado para o segmento viário em análise.
- (4)** Considerar o VDM e a composição de tráfego, conforme a porcentagem de veículos pesados por categoria.
- (5)** Dentro do nível de contenção selecionado, escolher o dispositivo de contenção mais adequado dentro das alternativas possíveis, em função do veículo mais pesado da Certificação (veículo de ensaio).
- (6)** Atentar para as características do dispositivo escolhido, como a deflexão dinâmica do sistema e a intrusão, quando couber.

O critério de seleção de dispositivos de contenção pode ser encontrado com mais detalhes no item 5.2.3 da “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP [2].

Por estarem posicionados nas proximidades da rodovia, os dispositivos de contenção longitudinal carecem de reparos sempre que sofrerem danos devido ao impacto com veículos. Portanto, a facilidade e os custos de reparos e reposições devem ser levados em consideração na escolha do dispositivo.

Para a implantação do dispositivo de contenção escolhido deve-se verificar que o local tenha o solo compactado compatível com o produto a ser implantado (conforme o solo ou fundação do teste de impacto do produto) e que tenha os espaçamentos e declividades especificados de acordo com a “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança” do DER/SP. Além disso, devem ser corretamente ancorados com terminais seguros [2]. Sempre que dois sistemas distintos forem conectados deve-se prever transição segura entre eles.

8.3.1.3 *Recomendações de projeto*

Projetos de dispositivos de contenção longitudinal devem especificar o nível de contenção e o espaço de trabalho, de acordo com a distância dos obstáculos fixos com a via e a intrusão, caso necessário. Também podem especificar os indicadores ASI e THIV ou OIV e ORA. Com o dispositivo escolhido, é necessário detalhar o desenho esquemático do sistema, o afastamento lateral até a faixa de tráfego, o comprimento, a declividade lateral e os efeitos do terreno [7].

Deve-se manter um afastamento lateral entre a borda da pista de rolamento e o dispositivo de contenção de, no mínimo, 1,00 m (Figura 8.10), admitindo-se, excepcionalmente, um afastamento mínimo de 0,50 m — somente quando houver restrições que limitem a implantação do afastamento de 1,00 m. O dispositivo de contenção pode ser instalado no limite do acostamento pavimentado, respeitados os afastamentos descritos anteriormente. Ainda, o projeto deve assegurar que a distância entre o dispositivo e o obstáculo não seja menor do que o espaço de trabalho.

Além disso, os dispositivos de contenção longitudinais devem ter um afastamento seguro da crista dos taludes de aterro de no mínimo 1,00 m, para garantir a correta ancoragem e suporte do solo [2]. A capacidade de suporte do solo deve ser avaliada para a implantação da proteção, não podendo assumir valores inferiores ao solo característico dos ensaios de certificação do produto.

Figura 8.10: Afastamento lateral mínimo do dispositivo de contenção lateral

Fonte: elaborado pelo autor

Quanto aos efeitos do terreno entre a pista e o dispositivo de contenção, é importante que o veículo tenha as rodas no chão e a suspensão esteja neutra durante o impacto. O terreno frontal ao sistema de contenção deve ser plano, com declividade máxima de 1V:10H. Deve-se garantir que dispositivos de drenagem não estejam posicionados à frente de dispositivos de contenção e observar as distâncias mínimas e máximas de afastamento da borda da pista de rolamento, definidas em Especificações Técnicas do DER-SP. [2].

O dimensionamento da proteção longitudinal se inicia pelo cálculo geométrico do comprimento mínimo necessário para interceptar a trajetória do veículo, com ângulo de saída máximo de 15°, de forma que o veículo errante não se choque ao obstáculo fixo [2]. O comprimento mínimo de um tramo de um sistema de contenção a ser instalado deve assegurar a suficiência estrutural em caso de impactos laterais, garantindo a capacidade de conter e de direcionar os veículos, tendo como referência o comprimento adotado nos ensaios de contenção (*"crash tests"*, em inglês).

As transições entre elementos distintos deverão ter incremento gradativo, suave e contínuo na rigidez do sistema de contenção, para que sejam seguras aos usuários da via, evitando efeitos indesejados, como o embolsamento, enganchamento ou a penetração no dispositivo de contenção. As conexões entre sistemas devem ser pelo menos

tão resistentes quanto o dispositivo de contenção mais fraco, podendo ser ensaiadas conforme as normas NCHRP 350/MASH ou EN1317 [2].

Em zonas de obras de média e longa duração, devem ser empregados dispositivos de contenção sempre que houver o risco de um veículo errante penetrar na área de trabalho. Podem ser dispositivos de uso temporário ou dispositivos móveis — que podem, ou não, ser utilizados em posição permanente ao final da obra. Assim, podem ser desde dispositivos de contenção temporários até dispositivos de alta contenção, conforme a velocidade praticada, o VDM e a composição do tráfego.

Dispositivos temporários devem ser retirados ao final do serviço, pois podem apresentar níveis de contenção mais baixos, conforme o padrão exigido nos ensaios e normas nacionais e internacionais (como os níveis de contenção T1, T2 e T3 da Norma Europeia EN1317-2 ou da NCHRP 350/MASH). Quando utilizados, a velocidade deve ser reduzida, uma vez que o nível de contenção é baixo e a ancoragem do sistema ao pavimento é temporária, apresentando menor resistência ao impacto [10].

8.3.2 *Dispositivos de contenção pontual*

São sistemas de proteção instalados nas extremidades de dispositivos de contenção longitudinal ou isoladamente em um local de risco, com funções de conter e absorver a energia de impacto de veículos errantes para que não atinjam obstáculos fixos ou áreas de risco.

Neste grupo, se enquadram os terminais de dispositivo de contenção longitudinal e os dispositivos amortecedores de impacto. Devem atender a normativas da EN1317-3, EN1317-4 e NCHRP 350/MASH, as quais seguem rigorosos ensaios de impacto. São soluções seguras para, em caso de impacto frontal, desacelerarem gradualmente o veículo até sua parada segura ou o redirecionarem de modo seguro em caso de impacto lateral [2].

Recomenda-se que os dispositivos amortecedores de impacto sejam especificados conforme a velocidade de impacto, o tipo de veículo (massa total) e os ângulos de impacto (frontal, angular, lateral). Devem ser autoportantes, sem a necessidade de estarem acoplados a um sistema de contenção subsequente. A sua avaliação é feita

pelo nível de severidade de impacto dos ocupantes do veículo, de forma semelhante aos dispositivos de contenção longitudinal, conforme testes de impacto estabelecidos pelas NCHRP 350/MASH ou EN1317 [7].

8.3.2.1 *Terminais de dispositivos de contenção longitudinal*

Todo dispositivo de contenção longitudinal deve ter terminais de início e término seguros para os usuários das vias. Se há riscos desses terminais sofrerem impactos frontais por veículos, é obrigatória a instalação de dispositivos que reduzam as consequências do impacto. Os terminais de entrada podem ser [2]:

- a) Terminal abatido (inclinado e enterrado no solo): conjunto de módulos de defensas metálicas com altura variando, desde a posição de projeto, até a extremidade totalmente enterrada, cravada no solo de modo a ancorar o sistema de defensas. Só deve ser utilizado em vias com velocidade inferiores a 60 km/h;
- b) Terminal absorvedor de energia: tipo de terminal acoplado ao dispositivo que, ao ser impactado frontalmente, absorve a energia cinética do veículo errante, conduzindo-o a uma parada segura. Para os terminais de abertura, quando o impacto ocorre na sua lateral (após o ponto de início de redirecionamento), o terminal, por meio da ancoragem, permite o desenvolvimento de tensão e o redirecionamento do veículo. Para os terminais de não abertura, o redirecionamento ocorre desde o início do sistema, isto é, desde o cabeçal de impacto. Devem ter uma transição adequada e segura para barreiras rígidas;
- c) Terminal desviado e ancorado em talude de corte: grupo de defensas metálicas defletidas na horizontal até o talude de corte, onde é ancorado com a extremidade cravada dentro do corte.

Vale destacar que os terminais de entrada abatidos e os terminais desviados até o talude de corte também podem ser instalados em barreiras de concreto, observando as mesmas condições de projeto e implantação.

Conforme normativas da NCHRP 350/MASH, os terminais podem ser classificados de acordo com o seu comportamento quando atingido, como [7]:

- a) Terminal de abertura: permite que o veículo que atingir em ângulo o nariz ou a lateral da unidade, antes do ponto de início de redirecionamento, atravesse a unidade, prosseguindo sua trajetória por trás do sistema;
- b) Terminal de não abertura: é capaz de redirecionar um veículo, no caso dele impactar em ângulo o nariz ou a lateral da unidade, em toda a sua extensão.

Os terminais devem ser acrescentados ao comprimento necessário de defensas, calculados conforme determina a Norma ANBT NBR 15486, exceto os terminais absorvedores energia de não abertura, que podem fazer parte do comprimento calculado de defesa [7]. É fundamental ancorar corretamente os terminais de início e término para que possam desenvolver tensão e redirecionarem o veículo em caso de colisões laterais. A área diante do terminal e entre esse e a faixa de rolamento deve ser plana, com declividade máxima de 1V:10H [2].

Onde os obstáculos não podem ser removidos, realocados, redesenhados, feitos colapsíveis ou adequadamente protegidos por barreiras e defensas longitudinais (por exemplo, em bifurcações, cabines de pedágio e colunas de viaduto), deve-se utilizar um dispositivo amortecedor de impacto.

8.3.2.2 *Dispositivos amortecedores de impacto*

Amortecedores de impacto evitam que veículos, em eventuais situações de saída de pista, se choquem com obstáculos fixos. Esses dispositivos são capazes de desacelerar veículos que colidem frontalmente até a sua parada, de forma gradual e suportável aos ocupantes do veículo, a fim de reduzir a severidade do acidente. Consistem em um dispositivo autoportante que não tem dependência estrutural com um eventual dispositivo de contenção longitudinal subsequente, de forma a não transferir a energia cinética do impacto. Podem ser de dois tipos [7]:

- a) Rediretivos: quando, além de suportar o impacto frontal, são capazes de redirecionar o veículo em impacto lateral;
- b) Não rediretivos: quando não têm a capacidade de redirecionar o veículo perante impacto lateral, ou seja, funcionam somente para impacto frontal.

Assim, em situações permanentes, é recomendado utilizar amortecedores de impacto rediretivos, pois oferecem maior proteção aos usuários da via, enquanto os não rediretivos oferecem condições adequadas para situações temporárias ou de obras.

Os amortecedores de impacto podem ser fixos ou móveis, sendo projetados para conter veículos leves a partir da consideração de diferentes ângulos e velocidades de colisão, que determinam seus níveis de contenção. O nível de contenção a ser utilizado depende da classificação e velocidade da via, assim como da largura do obstáculo [7].

Assim como dispositivos de contenção, amortecedores de impacto também devem ser instalados em áreas desobstruídas, com declividade entre a faixa de tráfego e o dispositivo de até 1V:10H, para que sejam eficazes e previsíveis. Não devem ser utilizadas guias ou outros elementos de drenagem à frente dos amortecedores, pois os veículos podem atingir o amortecedor de forma inadequada, comprometendo sua função [2].

Dentro das condições previstas nos ensaios normalizados, todos os dispositivos de contenção têm o potencial para parar veículos errantes que os atinjam, a níveis toleráveis de desaceleração, ou para contê-los e redirecioná-los caso impactem lateralmente. Se mais de um dispositivo de contenção puder ser instalado no local, cabe ao projetista avaliar qual dessas proteções se adequa melhor às particularidades do projeto, como as desacelerações esperadas, a capacidade de redirecionamento, tipo de ancoragem, estrutura de retenção e detritos resultantes do impacto [7].

A instalação de dispositivos amortecedores de impacto deve ser projetada prevenindo a necessidade de manutenção imediatamente após a colisão. Se o local se configura como um ponto crítico, convém utilizar dispositivos de menor manutenção ou materiais que possam ser reutilizados [7].

8.4 Rampas de escape

Veículos pesados, trafegando em rodovias de terreno montanhoso podem apresentar riscos à Segurança Viária, tanto para os motoristas de caminhões e ônibus, quanto para os demais usuários das vias. Terrenos com declividades acentuadas expõem veículos a aumentos de velocidade, como também, exigem o uso permanente dos freios e freio motor. Nessas situações, freios e engates podem sofrer falhas em veículos de grande porte, acarretando acidentes graves [11].

As rampas de escape são pistas de emergência auxiliares à pista principal, construídas em segmentos de via com greides acentuados e longos, com o intuito de permitir a parada de um veículo pesado em situações nas quais os veículos em altas velocidades apresentam falhas mecânicas no sistema de freio [5], [11]. O ângulo de saída das rampas de escape deve ser de até 5°, para permitir a entrada segura de veículos em altas velocidades, além de fornecer um bom campo de visão sobre a extensão da rampa [11]. A Figura 8.11 apresenta uma fotografia de uma rampa de escape na rodovia BR-277, na Serra do Mar (Paraná).

Figura 8.11: Exemplo de rampa de escape para caminhões na rodovia BR-277, Paraná



Fonte: [12]

Entre os diversos tipos de rampas de escape destacam-se os leitos de frenagem. São construídos adjacentes às rodovias, compostos por agregados soltos que incrementam a resistência ao rolamento enquanto o veículo percorre a rampa. Apresentam inclinações suaves e proporcionam desaceleração gradual até a parada total do veículo, podendo ser nivelados, descendentes ou ascendentes, conforme a topografia do local [11].

A rampa de escape mais utilizada é do tipo leito de frenagem com inclinação ascendente, a qual usa a inclinação e a atuação da força da gravidade como auxílio para desacelerar os veículos, reduzindo o comprimento necessário da pista de emergência. Leitos de frenagem horizontal necessitam de comprimentos maiores para fazer parar o veículo desgovernado, pois, nesses casos, a parada do veículo é apenas em decorrência da atuação dos agregados soltos. Leitos de frenagem descendentes devem ser implantados em condições específicas de terreno, uma vez que a rampa deve ser mais longa do que para os leitos de frenagem ascendente e horizontal, devido à somatória da força da gravidade atuando na aceleração do veículo [11].

Não há diretrizes únicas para o projeto e instalação de rampas de escape em rodovias novas ou existentes, porém, é recomendada a avaliação de fatores de seleção do local, específicos para a via de emergência, como: topografia, comprimento e greide, velocidade, economia, impacto ambiental e histórico de colisões. Para rodovias existentes, deve-se analisar o histórico de acidentes, bem como, observar em campo marcas na faixa de domínio que indiquem a necessidade de uma rampa de escape [11].

Dessa forma, para determinar a localização da rampa de escape, deve-se [11]:

- a) interceptar o maior número de veículos sem controle, avaliando a relação da declividade com o comprimento do greide para definir o ponto ótimo da implantação da rampa de escape;
- b) determinar a velocidade de descida segura pelo declive e os locais onde as temperaturas dos freios excedem o limite e podem resultar em falhas no sistema;
- c) utilizar tangentes da rodovia, que antecedem curvas horizontais, para evitar capotamentos;
- d) avaliar locais com histórico de acidentes, de forma a implantar a rampa de escape imediatamente antes da seção crítica da via;

- e) determinar a velocidade máxima com a qual o veículo fora de controle pode chegar ao local, para que essa seja a velocidade mínima de projeto para a rampa de escape.

Os projetos de rampas de escape devem oferecer as melhores condições de Segurança Viária aos motoristas e aos demais usuários da via. O dimensionamento deve considerar o fato de que veículos pesados sem controle não podem realizar manobras complexas. Portanto, o acesso à rampa de escape deve ser corretamente indicado por sinalização prévia de saída, para que os motoristas de veículos desgovernados saibam de sua existência e possam adentrar à pista de emergência com confiança. A sinalização vertical de regulamentação deve desencorajar e impedir que motoristas utilizem a rampa de escape para outros fins, como parada e estacionamento. O acesso à rampa deve ser delineado nas linhas de bordo com faixas retrorrefletivas para auxiliar no período noturno e, se possível, deve utilizar elementos de iluminação [11].

As rampas de escape devem ter comprimento suficiente para permitir a parada do veículo com segurança, e devem ser construídas considerando o volume e a composição de tráfego. Também, é recomendada uma largura aceitável para acomodar mais de um veículo pesado, para não comprometer a capacidade da rampa até que esta seja desobstruída e limpa. Referências internacionais indicam valores mínimos de 8,00 m e valores desejáveis de 9,00 a 12,00 m de largura de rampa [11].

Além disso, é preciso projetar e construir uma pista de serviço, de no mínimo 3,00 m de largura, adjacente à rampa de escape, para permitir que guinchos e veículos de manutenção possam ter acesso ao local e fazer a remoção dos veículos acidentados. A pista de serviço deve ser pavimentada e não pode gerar confusão ao motorista que necessita utilizar a rampa de escape [11].

Dispositivos amortecedores de impacto podem ser instalados no final da rampa de escape para garantir a parada segura dos veículos que a utilizam. Em último caso, quando não houver espaço para implantar uma rampa de escape, especialmente em trechos curtos, podem ser utilizados dispositivos de contenção do tipo retenção mecânica sequencial para parar os caminhões e ônibus em caso de perda de controle [11].

Em locais com elevado índice de acidentes devido a falhas mecânicas de veículos pesados, uma medida de Segurança Viária em rodovias é apresentar informações aos usuários sobre o percentual de inclinação do declive da rodovia e a localização das rampas de escape [11], para que os motoristas possam fazer a checagem dos freios em movimento. Nesses casos, podem ser implantados desvios na rodovia na crista de rampas para verificação de freios, ou mesmo áreas de parada obrigatória para motoristas inspecionarem o equipamento. Essas áreas podem ser vias pavimentadas separadas do acostamento ou um alargamento do acostamento, com sinalização adequada.

Para garantir a funcionalidade e a preservação das rampas de escape, manutenções para a readequação dos agregados devem ser feitas depois de cada uso. Leitões de frenagem sofrem compactação com o passar do tempo, devendo ser limpos de contaminantes e escarificados de forma recorrente, para conservar o dispositivo de drenagem e manter a pista limpa [11].

O manual da AASHTO *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*⁶ [11] contém especificações completas para o dimensionamento de rampas de escape.

⁶ Uma Política de Desenho Geométrico de Rodovias e Ruas, em tradução livre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BROCKENBROUGH, Roger L. **Highway Engineering Handbook**. Building and rehabilitating the infrastructure. 3° edição. Nova Iorque: The McGraw-Hill Companies, 2009
- [2] BRASIL, Departamento de Estradas e Rodagem (DER). **Instrução de Projeto IP-DE-L00/003 – Projeto de Dispositivos de Segurança**. Brasil, 2023
- [3] THOMSON, R. et al. **Roadside Infrastructure for Safer European Roads (RISER). D06: European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads**. Chalmers University of Technology. Suécia, 2006
- [4] BRASIL, Confederação Nacional do Transporte (CNT). **Rodovias que perdoam**. Transporte em foco, p. 1—13, mar. de 2021
- [5] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Roadside Design Guide**. 4° edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2011
- [6] PEREIRA, Manoel Antunes. **Curvas horizontais e a influência para acidentes de trânsito**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Perícia de Acidentes de trânsito) — Centro de Referência em Formação e EAD/CERFEAD — Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, dez. de 2017
- [7] BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15486 — Segurança no tráfego. Dispositivos de contenção viária. Diretrizes de projeto e ensaios de impacto**. Brasil, 2016
- [8] **São Bernardo do Campo, São Paulo**. *Google Maps*. Google. Disponível em: <https://www.google.com/maps/@-23.7503073,-46.5959766,3a,75y,188h,87.66t/data=!3m6!1e1!3m4!1s6m57hVsORvxbGVnTn49iBw!2e0!7i16384!8i8192>. Acesso em: 27 mar. 2023
- [9] BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7188 — Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Brasil, 2013
- [10] GONÇALVES, Cátia Mariana Freitas. **Dispositivos de Segurança em Infraestruturas Rodoviárias: Critérios de Aplicação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Área Departamental de Engenharia Civil — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, Portugal, fev. de 2016
- [11] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. 7° edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2018
- [12] BR-277 passa a ter área de escape. **Blog Mada Pereira**, 18 dez. 2018. Arquivo Publicável. Disponível em: <https://madapereira.com/2018/12/18/br-277-passa-a-ter-area-de-escape/>. Acesso em: 11 abr. 2023



PROJETO SEGURO DE INTERSEÇÕES E ACESSOS

Interseção rodoviária é a área de confluência, entroncamento ou cruzamento de duas ou mais vias, em nível ou desnível [1]. Já os acessos são vias de ligação entre uma rodovia e uma propriedade marginal (particular ou pública), um bairro ou uma localidade [2].

As interseções e acessos caracterizam-se por conexões da rede viária, as quais podem gerar situações críticas quanto à segurança e operação das vias em comparação a outros trechos rodoviários, devido ao aumento da ocorrência de conflitos de tráfego e necessidade de redução da velocidade na aproximação.

Dispositivos de interseção (ou de entroncamento) e dispositivos de acesso devem ser implantados em locais onde o volume de tráfego precisa de um ordenamento, em decorrência dos conflitos existentes (de convergência, divergência, cruzamento ou entrelaçamento)¹. Em rodovias, deve-se ter especial atenção a esses pontos, pois as velocidades praticadas em trechos contínuos podem ser incompatíveis com os dispositivos, que geralmente requerem a adoção de velocidades menores. Por essa razão, é necessário que o projeto e a implantação do dispositivo sejam realizados de acordo

¹ A classificação dos conflitos quanto aos diferentes movimentos do tráfego é aprofundada no item “9.9.1 — Movimentos e conflitos” deste capítulo.

com a função esperada para este elemento e que o local seja devidamente sinalizado, para garantir a segurança de todos os usuários.

O projeto geométrico das interseções segue diretrizes semelhantes ao projeto geométrico de trechos contínuos da rodovia. As particularidades referem-se aos parâmetros de projeto nas aproximações do dispositivo, uma vez que pode ser necessário que haja redução de velocidade para que os motoristas estejam aptos às tomadas de decisão necessárias. Em termos de Segurança Viária, é fundamental a sinalização de advertência e de orientação e outros elementos que possam melhorar a atenção dos motoristas na aproximação e no dispositivo [2].

O desenvolvimento do projeto geométrico de uma interseção, assim como a escolha da interseção adequada, deve atender a características básicas como a classe da rodovia, a capacidade da via, o volume de tráfego, os desejos de viagem, a topografia do terreno, a disponibilidade de área na faixa de domínio, a demanda dos usuários vulneráveis, o potencial para construção em etapas, a possibilidade de sinalização, os custos de implantação e os custos de operação [2], [3]. Sendo assim, devem ser considerados critérios de projeto a fim de garantir manobras de conversão e de cruzamento seguras e eficientes para todos os grupos de usuários das vias, especialmente em termos de segurança [3], com visibilidade adequada dos usuários e do dispositivo à frente, principalmente em interseções em nível.

O objetivo deste capítulo é apresentar os aspectos para a escolha de dispositivos seguros de interseção e de acesso e as melhores práticas de projeto para garantir a segurança nesses locais, com especial atenção à relação entre os elementos de projeto e a Segurança Viária. Particularmente, discorre-se sobre a importância de projetar dispositivos que se apresentem com clareza (fácil leitura e compreensão) aos condutores e demais usuários da via, para garantir a Segurança Viária. Discute-se também sobre quando realizar os cruzamentos em nível ou em desnível, além de destacar o papel das vias marginais e apresentar a relação dos tipos de interseção com o projeto seguro de rodovias.

Ressalta-se ainda a importância de considerar os aspectos apresentados nesse capítulo — a respeito da seleção de dispositivos seguros e das recomendações de projeto seguro —, não apenas em novos projetos, mas também em projetos de melhorias e readequação de interseções.

9.1 Aspectos que influenciam a segurança em dispositivos de interseção

A seguir são destacados os seis principais aspectos que podem influenciar a Segurança Viária e, portanto, devem ser considerados na escolha e na elaboração de projetos de dispositivos de interseção.

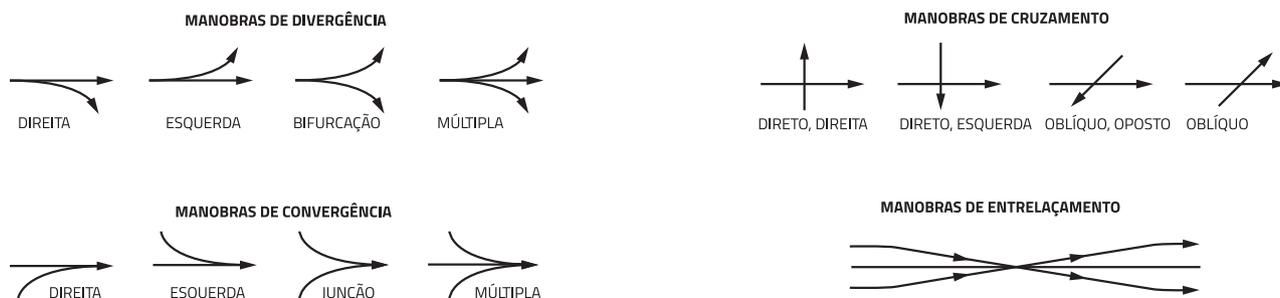
9.1.1 *Movimentos e conflitos*

Interseções são locais onde diferentes movimentos de tráfego ocorrem, devido aos diversos desejos de viagens dos usuários que geram mudanças de direção. Esses movimentos provocam conflitos de tráfego. Dessa forma, as interseções apresentam maior número de conflitos e potencialmente mais acidentes que outros trechos das vias.

Por se tratar de uma área com redução de velocidades e, muitas vezes, coexistência de veículos com usuários vulneráveis, deve-se ter especial cuidado com o ordenamento dos movimentos dos veículos e com a legibilidade² do dispositivo, para garantir a segurança dos usuários e evitar quebras de expectativas.

Os conflitos de tráfego podem ser classificados em quatro tipos: (i) divergência, (ii) convergência, (iii) cruzamento e (iv) entrelaçamento. Conflitos de divergência ocorrem nos pontos em que movimentos diferentes com o mesmo ponto de origem se separam, como em bifurcações. Conflitos de convergência ocorrem nos pontos em que movimentos diferentes, com origens distintas, se encontram, como na unificação de vias. Conflitos de cruzamento ocorrem nos pontos em que movimentos com origens e destinos diferentes se cruzam. Conflitos de entrelaçamento, por sua vez, ocorrem nos pontos em que movimentos com origens e destinos diferentes em correntes de tráfego de mesmo sentido se cruzam, normalmente em entradas e saídas de rodovias.. A Figura 9.1 apresenta os diferentes tipos de conflitos.

² O conceito de legibilidade da rodovia é abordado no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovia”.

Figura 9.1: Tipos de conflitos

Fonte: elaborado pelo autor com base em [4]

Em uma interseção simples de quatro ramos podem existir até 16 pontos de conflito de convergência, 16 pontos de conflito de divergência e 32 pontos de conflito de cruzamento. Quando não há separação dos fluxos, as interseções tendem a ser locais com potencial risco para a ocorrência de acidentes, especialmente devido à quantidade de pontos de conflitos existentes.

Os dispositivos são implantados nos pontos de mudança de direção, a fim de separar e ordenar os movimentos, reduzir conflitos, eliminar os conflitos mais severos e garantir visibilidade adequada. Portanto, os dispositivos podem resolver alguns tipos de conflito ou gerar outros, de acordo com a necessidade do local, a qual está estreitamente relacionada à classe da rodovia, ao volume de tráfego e à composição do tráfego das vias, sempre visando a Segurança Viária.

Cada dispositivo trata diferentes tipos de conflitos com níveis de risco de severidade de acidentes distintos. Dessa forma, a capacidade de acomodar grandes volumes de tráfego com segurança e eficiência depende dos dispositivos implantados nos locais de união de duas ou mais vias [3]. Além disso, é possível que existam características de diferentes tipos de conflito na mesma interseção, principalmente em locais com movimentos de circulação complexos [2].

9.1.2 *Velocidade*

A velocidade é um fator de risco para a ocorrência e para a severidade dos acidentes. Em rodovias, as velocidades praticadas são mais elevadas em relação a trechos urbanos, representando maior risco aos usuários.

A velocidade está relacionada com a distância de visibilidade de parada (DVP) e com a distância de visibilidade de tomada de decisão (DVTD). É fundamental garantir que as distâncias de visibilidade na via principal e na via secundária estejam de acordo com a velocidade regulamentada. Se não forem respeitadas essas distâncias mínimas, deve haver sinalização apropriada para informar e alertar o motorista da presença do dispositivo, conforme recomendações do Manual de Sinalização do DER/SP.

Na avaliação do dispositivo a ser implantado, deve-se considerar a velocidade do tráfego na própria interseção e, também, nas aproximações da interseção. Para interseções em nível, recomenda-se a redução ou, pelo menos, a gestão da velocidade já nas aproximações do dispositivo e na própria interseção, de forma a proporcionar tempos de reação adequados para a realização de manobras com segurança. A necessidade de redução da velocidade depende dos volumes de tráfego na via principal e na via secundária, além dos intervalos disponíveis entre veículos na via principal para que os veículos que pretendem entrar ou cruzar a via possam fazê-lo com segurança. A velocidade na via principal deve ser avaliada com cautela: pode ser necessário reduzir a velocidade regulamentada, especialmente quando da implantação de rotatória.

Em rotatórias alongadas deve-se avaliar a redução da velocidade em favor da segurança dos usuários, de forma que os veículos não percorram a rotatória com velocidade excessiva. Rodovias de classe II e III com interseções simples e prioridade de passagem podem necessitar de dispositivos de controle de velocidade. Além disso, o projeto geométrico deve prever soluções para que os motoristas diminuam naturalmente a velocidade nas aproximações.

Nos acessos, a instalação de dispositivos e a redução de velocidade nem sempre é necessária, uma vez que o baixo volume de tráfego permite a entrada de veículos na via principal sem causar perturbações à corrente de tráfego.

Em interseções em desnível, é necessário que a geometria das alças seja dimensionada considerando a velocidade da via principal. Velocidades incompatíveis com a geometria podem causar tombamentos, capotamentos ou saídas de pista. Nos casos em que a via secundária termina em outra via, por meio de um dispositivo de interseção, e o usuário da via secundária obrigatoriamente percorre o dispositivo (como ocorre em interseções do tipo trombeta e diamante), é fundamental que as aproximações da via secundária sejam ostensivamente sinalizadas, indicando que a continuidade do caminhamento se dá pelo dispositivo e que o usuário deve ter atenção ao trafegar por ele.

A extensão do entrelaçamento é outro fator importante a ser considerado no projeto seguro de interseções. Nas vias principais, não é comum haver redução de velocidade, porém, quando a velocidade nessas vias é muito alta, o entrelaçamento de veículos pode gerar riscos à segurança. Uma solução segura em rodovias de classes O e IA, por exemplo, é a implantação de vias marginais para acomodar os movimentos e conflitos de entrelaçamento.

9.1.3 *Volume Diário Médio (VDM) e Volume Horário de Projeto (VHP)*

O volume de tráfego no trecho é um aspecto importante a ser considerado no projeto geométrico para a implantação de uma interseção segura. Os dados de volume permitem o dimensionamento dos ramos do dispositivo e a definição da solução a ser adotada. O Volume Diário Médio (VDM) é o número médio de veículos que percorre uma seção ou trecho da rodovia, por dia, durante um certo período (quando o período não é especificado, considera-se um ano). O Volume Horário de Projeto (VHP) diz respeito ao fluxo de veículos (número de veículos por hora) que deve ser atendido em condições adequadas de segurança e conforto [2].

Os dados de volume são determinados a partir de contagens dos movimentos de tráfego. Para projetos de interseções, o VDM e o VHP são estimados em cada ramo da interseção para um período de projeto de 10 anos. O valor do VHP (em unidades de carro de passeio por hora, UCP/hora) pode ser determinado a partir de ajustes e expansões de contagens de tráfego realizadas em períodos de pico durante um intervalo

limitado de dias. O dimensionamento do dispositivo deve prever um certo número de horas com congestionamento e indicar um valor aceitável para o VHP, em termos de segurança, conforto e custos econômicos [2].

Volumes de tráfego mais altos são incompatíveis com interseções em nível, uma vez que o fluxo na via principal pode, muitas vezes, não apresentar intervalos suficientes para manobras de cruzamento seguras, o que torna necessário segreggar os movimentos em níveis diferentes.

9.1.4 *Visibilidade*

Outro critério de projeto fundamental para a seleção de dispositivos de interseções é a visibilidade do dispositivo, tanto em relação aos elementos físicos da interseção, quanto em relação ao tráfego de veículos e usuários vulneráveis. Obstáculos físicos, como ilhas, devem estar visíveis aos motoristas em qualquer condição. O uso de sinalização adequada com materiais retrorrefletivos garante a visibilidade em períodos noturnos e em condições climáticas adversas. Além disso, a visibilidade entre os usuários deve ser garantida, devendo ser evitadas obstruções visuais nas aproximações e nos dispositivos [2].

O motorista, ao se aproximar do dispositivo, deve ter visão desimpedida de toda a interseção e de parte dos seus ramos de acesso, para que seja capaz de identificar possíveis riscos e realizar as manobras necessárias. A área de visibilidade necessária depende das velocidades e das distâncias percorridas, considerando os tempos de percepção e reação e de frenagem.

O triângulo de visibilidade livre necessário para o tráfego em movimento refere-se à distância de visibilidade adequada para que os usuários que se aproximam de um cruzamento possam se enxergar mutuamente, a tempo de evitar acidentes. É importante que essa área seja livre de objetos com altura capaz de obstruir a visão. O triângulo de visibilidade para o tráfego parado diz respeito à visibilidade necessária para que os usuários que se encontram parados na interseção possam cruzar a via ou incorporar-se à corrente principal com segurança [2].

Vias secundárias e acessos devem contar com visibilidade adequada do tráfego da via principal, de modo que o motorista que trafega na via secundária consiga realizar manobras de entrada ou cruzamento da via principal com segurança. Caso não seja possível proporcionar distâncias de visibilidade adequadas, faz-se necessário reduzir as velocidades de aproximação em função da distância disponível, realizar controle de velocidade ou até alterar o tipo de controle do dispositivo [2].

Para a implantação do dispositivo, deve-se ter atenção aos alinhamentos verticais e horizontais, devendo ser garantidas distâncias de visibilidade para tomada de decisão ou de parada. De modo geral, a maior distância de visibilidade possível deve ser incorporada ao projeto de interseções, sendo, portanto, indesejável interseções projetadas com base na distância mínima de visibilidade de parada. Cruzamentos em curvas horizontais devem ser evitados sempre que possível, pois podem reduzir a distância de visibilidade. Quando houver curvas verticais, é preciso considerar as distâncias de visibilidade ao longo das vias que se interceptam. Já para a implantação de interseções em curvas verticais convexas, deve-se ter atenção à visibilidade dos motoristas, especialmente em relação à sinalização. Combinações de curvas horizontais e verticais devem permitir distâncias de visibilidade adequadas [2].

9.1.5 *Classe da rodovia*

A classe da rodovia é outra questão essencial na escolha do dispositivo. No estado de São Paulo, rodovias de classes 0 e IA não devem ter cruzamentos em nível na via principal, devido ao alto volume de tráfego e às velocidades praticadas. Em rodovias de classes IB, II, III e IV, de pista simples, é usual a implantação de interseções em nível, embora em casos de cruzamento com outra rodovia seja recomendada a implantação de um dispositivo em desnível.

É necessário ter atenção especial a interseções em rodovias de pista simples em terreno montanhoso. Nesses casos, é fundamental sinalizar as aproximações de maneira apropriada, uma vez que as distâncias de visibilidade são comprometidas.

9.1.6 *Usuários vulneráveis*

A presença de usuários vulneráveis em travessias urbanas³, especialmente em travessias urbanas dos tipos II e III⁴, pode implicar em diferentes soluções para os dispositivos de interseção. Já em vias rurais de classes mais altas, a presença de usuários vulneráveis pode indicar a necessidade de cruzamentos em desnível dedicados a esses usuários.

Normalmente, a geometria das interseções ocupa grandes espaços, os quais podem afetar as distâncias necessárias para pedestres e ciclistas cruzarem a via e, dessa forma, resultar em travessias em locais inseguros, uma vez que esses usuários priorizam trajetórias com o caminho mais curto. Essa questão é especialmente importante quando da presença de paradas de ônibus próximas à interseção, que causam um aumento na circulação de pedestres.

As demandas de caminamento e cruzamento de pedestres em dispositivos de interseção devem ser atendidas de forma segura, seguindo a ordem de tratamento apresentada no “Capítulo 11 — Considerações sobre usuários vulneráveis”.

9.2. Tipos de dispositivos de interseção

Interseções são componentes da rodovia que exigem atenção e, portanto, um projeto seguro precisa considerar as normas e boas práticas da Segurança Viária para a escolha e implantação correta do dispositivo [1]. Os dispositivos podem ser divididos em duas categorias básicas [1]:

- a) em nível: duas ou mais rodovias se cruzam no mesmo plano horizontal;

³ O tratamento recomendado aos usuários vulneráveis em travessias urbanas é abordado com mais detalhes no “Capítulo 11 — Considerações sobre usuários vulneráveis”.

⁴ Os tipos de travessias urbanas são explicados no “Capítulo 10 — Travessias urbanas”. Travessias urbanas do tipo I se referem a rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada, sem influência do tráfego local. Travessias urbanas do tipo II se referem a rodovias que atravessam área de influência urbana com passagem perturbada pelo tráfego local. Travessias urbanas do tipo III se referem a rodovias que atravessam áreas urbanizadas e adquirem características físicas e operacionais urbanas.

- b) em desnível: as vias são separadas em diferentes níveis e conectadas por rampas, as quais permitem a acomodação dos movimentos de conversão.

Projetos voltados para a Segurança Viária em interseções buscam reduzir conflitos separando os usuários no tempo e/ou no espaço [5]. Dispositivos em nível apresentam pontos de conflito advindos de diferentes ramos da interseção, podendo ser necessário elaborar um redesenho viário ou implantar medidas de controle de tráfego para permitir manobras de conversão e cruzamento com segurança [3]. Assim, são fornecidos intervalos seguros ao separar os conflitos no tempo.

Cruzamentos em desnível propiciam faixas dedicadas a diferentes movimentos de conversão e de cruzamento, garantindo maior eficiência, segurança e capacidade em relação aos cruzamentos em nível [3]. Assim, a separação de nível para diferentes direções dos movimentos e a separação de faixas para diferentes usuários possibilitam a redução do potencial de colisões, pois separa os conflitos no espaço. Essas soluções reduzem o número de pontos de conflito ou ampliam o afastamento entre eles.

A separação de conflitos no espaço também inclui a implantação de canteiros centrais, para construção de faixas de conversão, e o controle de acessos. Esses elementos garantem mais espaço para a realização de manobras de cruzamento ou retorno. A segurança também é aumentada com o espaçamento adequado entre os dispositivos, garantindo a separação de pontos de conflito decorrentes dos seus movimentos [2].

A separação dos pontos de conflito no tempo auxilia na tarefa de dirigir, quanto à percepção, reação, tomada de decisão e execução de manobras. A implantação de dispositivos de canalização nas interseções (incluindo ilhas, faixas de conversão e controle dos pontos de acesso) organiza os movimentos conflitantes, separando-os no espaço e no tempo. Assim, o usuário é capaz de identificar os pontos de conflito de forma individualizada e reagir com segurança. O projeto deve considerar as velocidades dos fluxos de tráfego afluentes dos ramos das interseções [2] e o volume de veículos pesados, os quais influenciam no tempo de exposição aos conflitos.

Conforme mencionado, as soluções de segurança considerando os diferentes tipos de dispositivos, podem ser associadas ao volume de tráfego, uma vez que quanto maior

o volume de tráfego, existe maior número de conflitos. Além disso, volumes de tráfego elevados, próximos à capacidade da via, podem resultar em intervalos menores para movimentos de cruzamento e conversão e travessias de pedestres, o que, por vezes, pode encorajar a realização desses movimentos de forma insegura. Logo, há maior necessidade de separar os conflitos no tempo e no espaço.

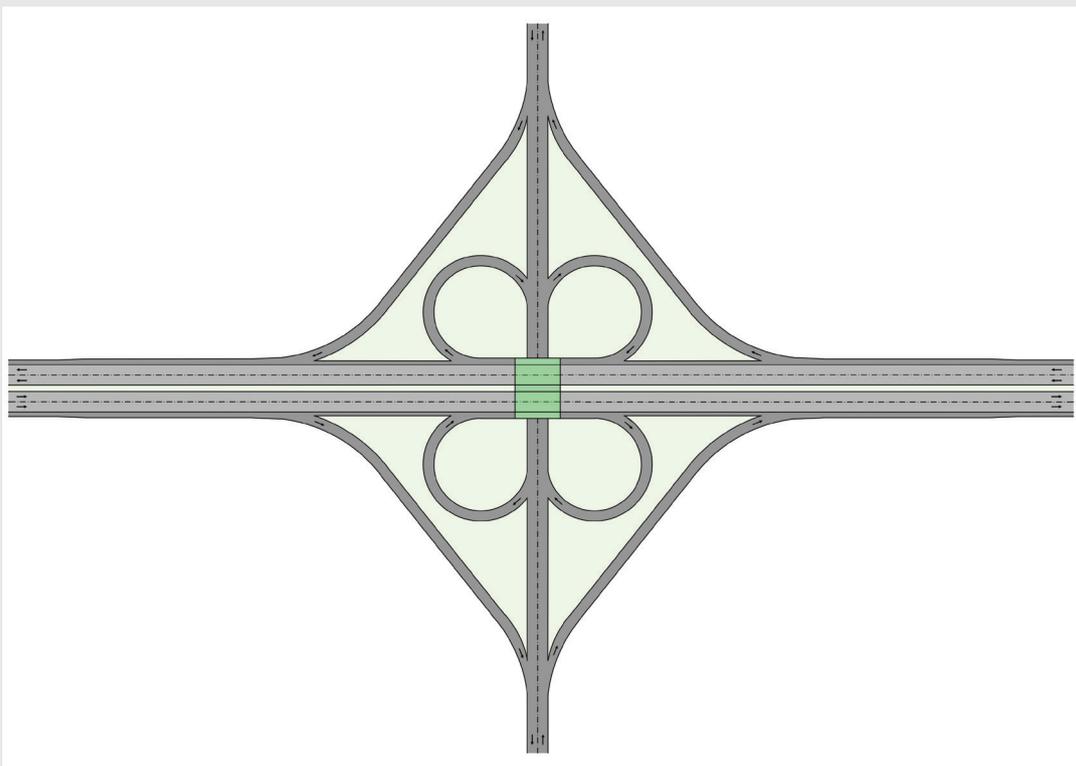
Na sequência, são apresentadas considerações quanto aos cruzamentos em nível e em desnível, como também as configurações de dispositivos mais utilizados.

9.2.1 *Interseções em desnível*

Um cruzamento em desnível é um sistema composto por obras de arte e alças viárias que conectam vias situadas em níveis distintos. As configurações variam amplamente em forma, podendo ir desde a implantação de uma alça para cruzar a via principal a *layouts* complexos e abrangentes envolvendo duas ou mais rodovias [3].

Os principais riscos à Segurança Viária a serem considerados em dispositivos em desnível é a possibilidade de quedas, tombamentos e capotamentos de veículos, além de acidentes decorrentes de movimentos de entrelaçamento ou cruzamento nas alças de acesso. Mais recentemente, tem sido recomendada a iluminação desses dispositivos, de forma a garantir boas condições de visibilidade mesmo à noite, melhorando a segurança como um todo no local.

As interseções em desnível mais comuns em rodovias são apresentadas no Box 1.

A. Trevo completo**Figura 9.2:** Dispositivo de interseção em desnível — trevo completo

Fonte: elaborado pelo autor

O trevo completo é uma interseção em desnível adequada para rodovias com elevados volumes de tráfego de veículos. É um dispositivo com separação total de níveis para todos os movimentos de conversão. É uma excelente solução de segurança, uma vez que não apresenta conflitos de cruzamento, apenas de convergência, de divergência e de entrelaçamento nas alças de acesso. Pode apresentar dificuldades para o tráfego de pedestres e ciclistas quando há demanda desses usuários, pois aumenta as distâncias percorridas e a quantidade de travessias. Exige grande espaço da faixa de domínio para sua implantação. Especial atenção deve ser dada para garantir comprimento suficiente para o entrelaçamento seguro.

Movimentos e conflitos: elimina conflitos com risco de maior severidade, tais como colisão transversal e colisão frontal. Apresenta conflitos de entrelaçamento, convergência e divergência.

Velocidade: deve-se ter atenção com o dimensionamento das alças de acesso ao dispositivo, uma vez que o trevo completo é implantado em rodovias com altas velocidades.

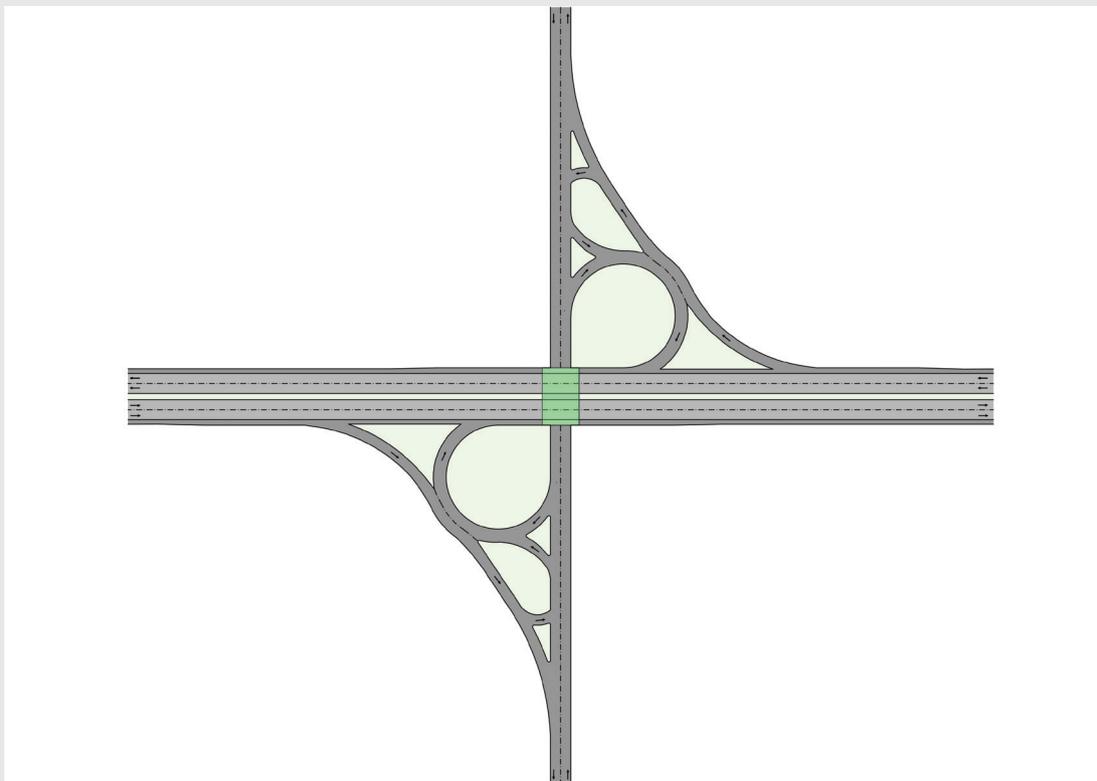
Visibilidade: é necessário garantir distância de visibilidade de parada e distância de visibilidade de tomada de decisão adequadas para que os usuários consigam visualizar o dispositivo e realizar manobras com segurança. Em movimentos divergentes, também é importante que as bifurcações (narizes) tenham distâncias de visibilidade adequadas, dotadas de sinalização horizontal e vertical apropriadas e que os dispositivos de contenção viária, caso existam, sejam acompanhados de dispositivos amortecedores de impacto.

VDM e VHP: este tipo de interseção é indicado em rodovias com valores altos de VDM e VHP. Geralmente, a capacidade do trevo completo é determinada pelos conflitos de entrelaçamento. Em situações com volumes elevados de entrelaçamento pode ser necessário prever a implantação de uma via marginal, com o objetivo de preservar as condições de fluxo e segurança da rodovia.

Classe da rodovia: mais indicado para vias de classe O e IA.

Usuários vulneráveis: deve-se dedicar especial atenção em locais com demandas de travessias de pedestres e com presença de paradas de ônibus, uma vez que as distâncias de deslocamento ao longo do dispositivo são elevadas e os veículos trafegam com velocidades relativamente altas, exigindo medidas para separar os usuários vulneráveis do tráfego motorizado.

Características adicionais: é necessária atenção especial aos elementos de contenção viária em alças e nas aproximações da obra de arte superior, a fim de prevenir queda de veículos desgovernados em plano inferior.

B. Trevo parcial**Figura 9.3:** Dispositivo de interseção em desnível — trevo parcial

Fonte: elaborado pelo autor

O trevo parcial é formado com somente dois ramos do trevo completo, com o objetivo de atender a demanda da rodovia com maior volume de tráfego. Pode ser adequado quando a via secundária apresenta volume significativamente inferior ao da via principal. Embora resulte em soluções eficientes e seguras para os movimentos da via principal, acaba por gerar conflitos de cruzamento na via de menor volume de tráfego. Por esse motivo, deve ser avaliada a necessidade de implantação de rotatórias nos pontos de cruzamento. Em alguns casos, as alças podem apresentar sentido duplo de circulação. Nesses casos, recomenda-se considerar a separação de sentidos de tráfego com elementos de contenção viária, além da redução dos limites de velocidade.

Movimentos e conflitos: apresenta conflitos de convergência e divergência na via principal. Na via secundária, a menos que seja prevista uma rotatória, apresenta conflitos de cruzamento potencialmente perigosos. Deve-se avaliar cuidadosamente a geometria da via secundária nas aproximações do trevo parcial.

Velocidade: deve-se ter atenção com o dimensionamento das alças de acesso do dispositivo, em especial àquelas que realizam a transição da via principal para a secundária. Nestas, o veículo deve reduzir a velocidade para atingir a via secundária, especialmente em situação de parada obrigatória.

Visibilidade: é necessário garantir distância de visibilidade de parada e distância de visibilidade de tomada de decisão adequadas para que os usuários consigam visualizar o dispositivo e realizar manobras com segurança. Também devem ser garantidas condições adequadas de visibilidade nas alças do dispositivo e nas aproximações de ambos os lados da via secundária.

VDM e VHP: este tipo de interseção é admitido em rodovias com valores de VDM e VHP médio a alto.

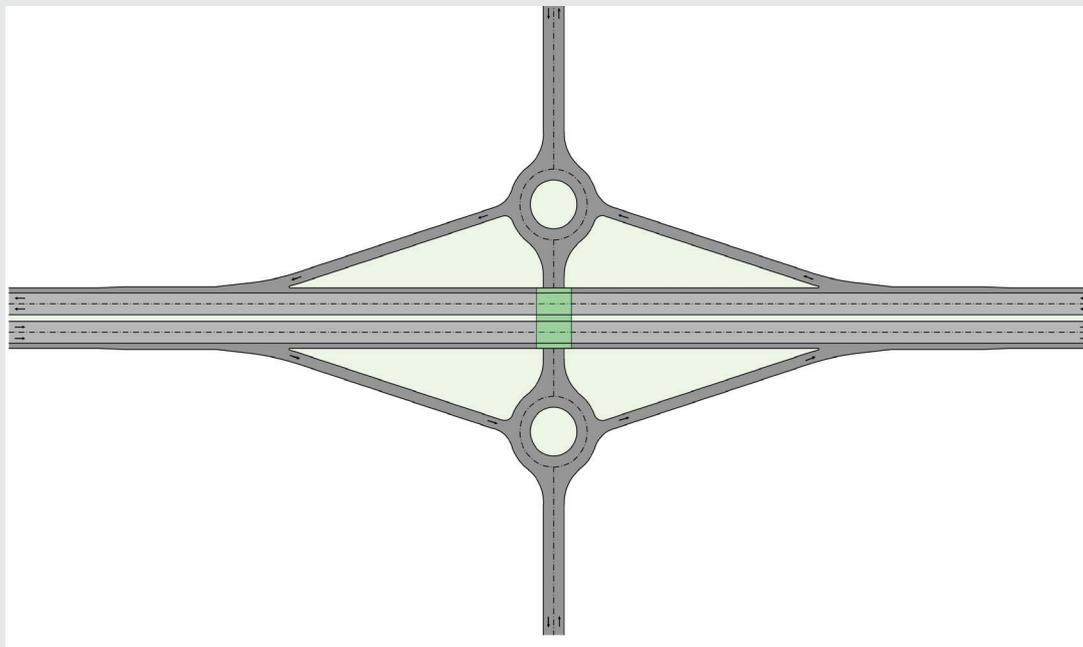
Classe da rodovia: mais indicado para vias de classe IA e IB.

Usuários vulneráveis: deve-se dedicar especial atenção em locais com demandas de travessias de pedestres e com presença de paradas de ônibus, uma vez que as distâncias de deslocamento ao longo do dispositivo são elevadas e os veículos trafegam com velocidades relativamente altas, exigindo medidas para separar os usuários vulneráveis do tráfego motorizado.

Características adicionais: é necessário avaliar a possibilidade de implantação de rotatórias para eliminar os pontos de conflito potencialmente perigosos no cruzamento entre as alças e a via secundária. Deve-se, também, ter atenção aos elementos de contenção viária em alças e nas aproximações da obra de arte superior, a fim de prevenir a queda de veículos desgovernados em plano inferior.

C. Diamante

Figura 9.4: Dispositivo de interseção em desnível — diamante



Fonte: elaborado pelo autor

Nos dispositivos do tipo diamante, as saídas e entradas da via principal são realizadas por movimentos de divergência e convergência. Por isso, permitem melhores condições operacionais e de segurança para a via principal, já que não apresentam conflitos de entrelaçamento. Por outro lado, conflitos de cruzamento ocorrem nos cruzamentos entre as alças e a via secundária (pista simples). Por essas razões, pode ser necessário avaliar a implantação de rotatórias nesses pontos de cruzamento, seja em razão do VHP ou de condições de visibilidade.

Movimentos e conflitos: conflitos de divergência e convergência devem ser corretamente gerenciados por faixas de desaceleração e de aceleração. Já os conflitos de cruzamento, que ocorrem no cruzamento entre as alças e a via secundária, precisam ser avaliados com atenção e, se possível, eliminados.

Velocidade: deve-se ter atenção com o dimensionamento das alças de acesso do dispositivo, sobretudo as de saída da via principal. Nesses locais, os veículos devem ter condições seguras para a redução da velocidade, chegando ao cruzamento com a via secundária com baixa velocidade ou mesmo com parada total.

Visibilidade: é necessário garantir distância de visibilidade de parada e distância de visibilidade de tomada de decisão adequadas para que os usuários consigam visualizar o dispositivo e realizar manobras com segurança. As condições geométricas nas aproximações das vias secundárias devem ser cuidadosamente avaliadas, sobretudo em relação às distâncias de frenagem. Caso essas condições sejam desfavoráveis, deve-se implantar sinalização de advertência.

VDM e VHP: este tipo de interseção é admitida em rodovias com valores de VDM e VHP médio a alto.

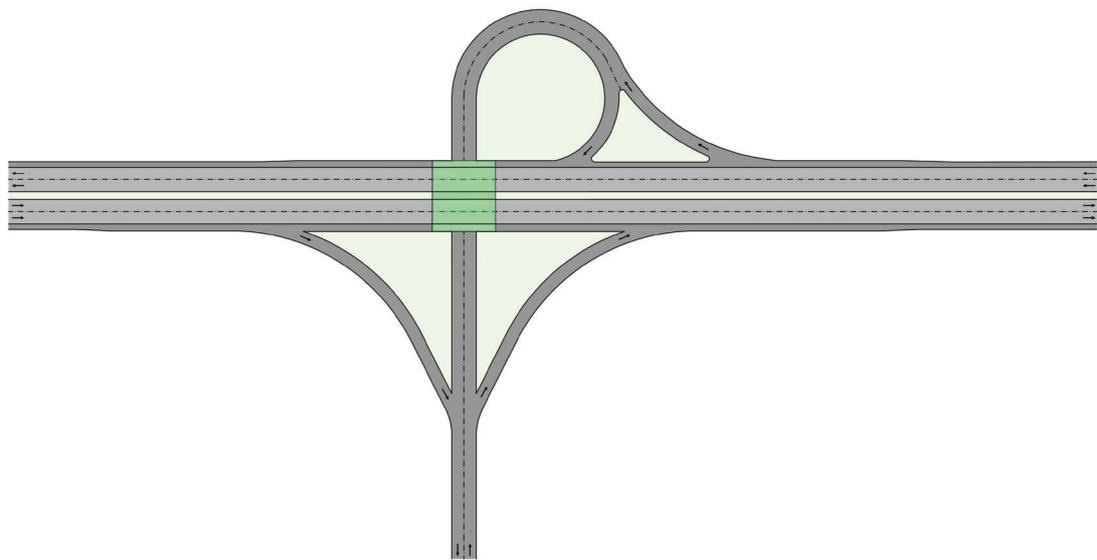
Classe da rodovia: mais indicado para vias de classe O, IA, IB e II.

Usuários vulneráveis: as soluções em que a via principal é elevada, passando sobre a via secundária, podem se apresentar como uma opção segura para usuários vulneráveis.

Características adicionais: a elevação da via principal, além de reduzir significativamente a área ocupada pelo dispositivo, reduz a distância de travessia para pedestres. No entanto, os cruzamentos entre as alças e as vias secundárias devem ser tratados com sinalização apropriada e com dispositivos para redução de velocidade nas aproximações.

D. Trombeta

Figura 9.5: Dispositivo de interseção em desnível — trombeta



Fonte: elaborado pelo autor

Os dispositivos do tipo Trombeta são implantados em situações em que os fluxos de tráfego das vias principal e secundária são significativos.

Movimentos e conflitos: nestes dispositivos são observados conflitos de divergência e convergência. Esses conflitos devem ser corretamente gerenciados por faixas de desaceleração e de aceleração.

Velocidade: deve-se dedicar especial atenção ao dimensionamento da alça e à sinalização destinada ao movimento de aproximação da via principal pela via secundária, sendo necessário conduzir o motorista a adequar a velocidade do veículo para realizar a trajetória curva da alça.

Visibilidade: é necessário garantir distância de visibilidade de parada e distância de visibilidade de tomada de decisão adequadas para que os usuários consigam visualizar o dispositivo e realizar manobras com segurança. Em movimentos divergentes, atenção especial deve ser dedicada às condições de visibilidade das bifurcações (narizes), para que tenham distâncias de visibilidade adequadas, dotadas de sinalização horizontal e vertical apropriadas e que os dispositivos de contenção viária, casos existam, sejam acompanhados de dispositivos amortecedores de impacto.

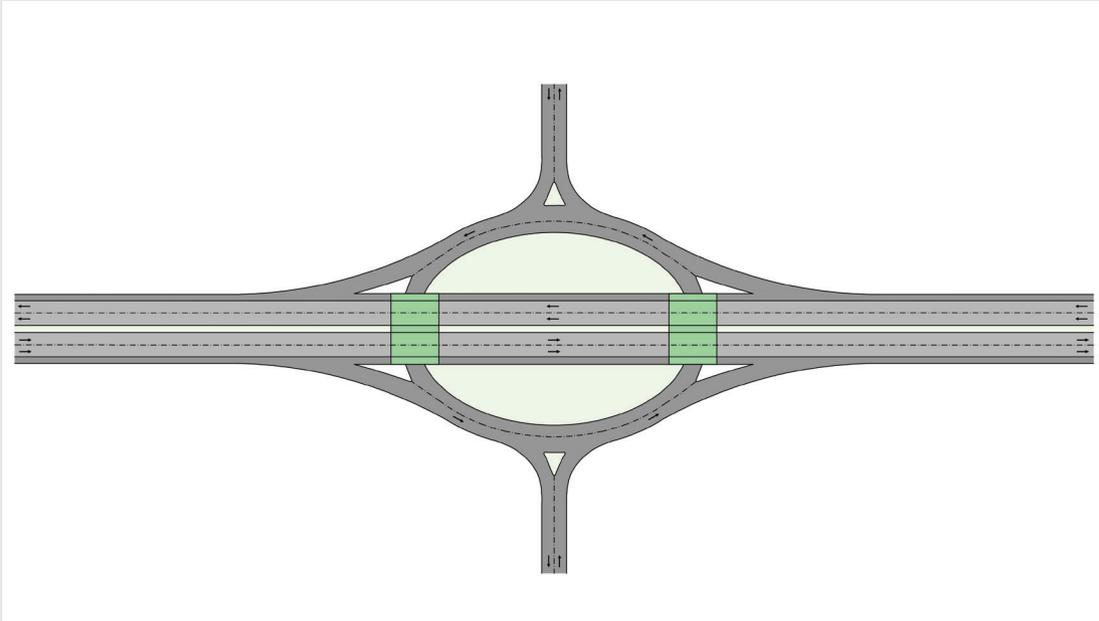
VDM e VHP: este tipo de interseção é admitido em rodovias com valores de VDM e VHP médio a alto.

Classe da rodovia: mais indicado para vias de classes 0, IA, IB e II.

Usuários vulneráveis: os casos mais comuns de demanda de pedestres nestes dispositivos estão relacionados aos pontos de parada de ônibus, normalmente em acessos a áreas urbanizadas. Como ocorrem movimentos de convergência e divergência em velocidades relativamente altas, é necessário que sejam previstos locais seguros para as travessias de pedestres.

E. Interseção em desnível giratória

Figura 9.6: Dispositivo de interseção em desnível — interseção em desnível giratória



Fonte: elaborado pelo autor

A interseção em desnível giratória é uma solução normalmente implantada com segurança em zonas rurais onde existem duas ou mais vias que se cruzam, em condições de médio a alto volume de tráfego. Requer grande área de implantação. A presença de conflitos de entrelaçamentos pode limitar sua capacidade.

Movimentos e conflitos: estes dispositivos podem ser caracterizados pela ocorrência de conflitos de entrelaçamento, ainda que ocorram também diversos conflitos de convergência e divergência.

Velocidade: é importante considerar que a velocidade da via circular deve ser compatível com a ocorrência dos movimentos de entrelaçamento. Ao mesmo tempo, deve-se garantir que a velocidade dos movimentos nas alças de saída da via principal seja adequada às aproximações com a via circular.

Visibilidade: dado que, em geral, a via circular conta com grandes dimensões, a percepção dos motoristas tende a ser restrita, não abarcando o dispositivo como um todo. Por essas razões, é importante que as sinalizações de advertência e orientação sejam projetadas com cuidado. Ao mesmo tempo, nos movimentos de divergência, é importante que as condições de visibilidade sejam apropriadas.

VDM e VHP: este tipo de interseção é admitido em vias com valores de VDM e VHP médio a alto.

Classe da rodovia: mais indicado para vias de classe 0, IA e IB.

Usuários vulneráveis: este tipo de interseção não é recomendado em locais com demanda de cruzamento de usuários vulneráveis, uma vez que as distâncias de deslocamento ao longo do dispositivo são elevadas e os veículos trafegam com velocidades relativamente altas, exigindo medidas para separar os usuários vulneráveis do tráfego motorizado.

A separação em nível é obrigatória em interseções de rodovias de classe 0, devido ao controle total de acessos exigido e, no estado de São Paulo, também em rodovias de classe IA. Nas demais classes, a implantação de dispositivos em desnível obedece a critérios relacionados a condições específicas.

Em geral, interseções em desnível são justificadas em rodovias com elevado volume de tráfego e interferências de diversas correntes, a fim de reduzir a probabilidade de ocorrência de acidentes graves, bem como garantir o nível de serviço compatível com a classe da rodovia. Além disso, deve ser considerada em cruzamento de vias com histórico de acidentes ou mesmo em entroncamentos de rodovias com volume de tráfego e densidade reduzidos, mas com velocidades altas [2].

A separação dos ramos em níveis diferentes deve ser projetada de forma que elimine o risco de quedas de veículos em plano inferior, por meio da instalação de dispositivos de proteção. Esse tipo de interseção apresenta maiores percursos em comparação com os cruzamentos em nível [2].

Ao ser implantada em travessias urbanas do tipo II ou, eventualmente, do tipo III⁵, deve-se considerar a demanda de usuários vulneráveis e proporcionar trajetórias

⁵ Os tipos de travessias urbanas são tratados no “Capítulo 10 — Travessias urbanas”.

seguras para a circulação desses usuários, com especial atenção a cruzamentos e locais de embarque e desembarque do transporte coletivo.

Além disso, é preciso considerar o espaçamento mínimo recomendado entre interseções em desnível, a fim de evitar que as áreas de influência dos movimentos de conversão se sobreponham, evitando entrelaçamentos entre dispositivos subsequentes. Deve-se ter especial atenção para que a sinalização horizontal e a sinalização vertical não fiquem comprometidas [2].

9.2.2. *Interseções em nível*

Os cruzamentos em nível estão entre os elementos mais complexos de projetar e operar em uma rodovia sob o ponto de vista da Segurança Viária [3], uma vez que grande parte dos acidentes tende a ocorrer em interseções em nível [6] como, por exemplo, as colisões laterais em cruzamentos com problemas de conciliação de conflitos. Por isso, os dispositivos no mesmo nível devem ser projetados para promover o movimento seguro do tráfego em todas as faixas de aproximação, com uma quantidade mínima de atraso, de forma equilibrada para todos os modos de transporte e considerando o contexto e a comunidade nos quais o projeto da rodovia está localizado [3].

Os tipos básicos de interseções em nível são: de três ramos (interseção T), quatro ramos, multirramos e rotatórias. Em rodovias, as configurações mais comuns são as interseções simples com prioridade de passagem, as rotatórias e as rotatórias alongadas. Em interseções de vias rurais com grande volume e altas velocidades, são desaconselhados cruzamentos diretos. Rotatórias e canalizações de movimentos permitem que haja separação dos pontos de conflito entre os movimentos da rodovia principal e da via secundária. Conversões à esquerda em rodovias de pista dupla, mesmo com baixo volume de tráfego, são desaconselhadas, assim como o uso de sinalização semafórica [2].

O tipo de interseção é determinado de forma individual e local, principalmente com base no número de ramos que se cruzam, na topografia, nas restrições de direito de passagem, nas necessidades de todos os usuários, nas características das vias, nos volumes, velocidades e outras características do tráfego e no nível de serviço desejado [3].

Assim como observado para interseções em desnível, recentemente tem sido recomendada a iluminação de dispositivos em nível, de forma a garantir boas condições de visibilidade mesmo no período noturno. Essa recomendação deve ser analisada com mais atenção nos casos em que se observam demandas de usuários vulneráveis.

Além disso, nas interseções em nível presentes em rodovias, é recomendada a utilização de elementos dedicados à organização dos movimentos, fornecendo mais segurança em termos de redução do risco de ocorrência de acidentes e da sua severidade. Entre esses elementos destacam-se elementos de canalização, como ilhas, faixas, canteiros físicos separadores, entre outros.

BOX 2

CANALIZAÇÃO



A canalização é a separação e ordenação de movimentos de tráfego, orientando trajetórias definidas por meio de ilhas, faixas, canteiros físicos separadores, transições ou *tapers*, ou por sinalização (placas e marcações no pavimento). Facilita movimentos ordenados dos usuários em trajetórias definidas, em particular nas correntes principais, e desencoraja ou mesmo proíbe conversões indesejáveis. A canalização tem como objetivo reduzir e/ou separar os pontos de conflito. Para tanto, deve ser simples e de fácil leitura, e não deve gerar confusão na escolha dos movimentos, a fim de evitar erros e manobras inseguras [2], [3].

Nos locais onde o tráfego que percorre uma interseção é direcionado para caminhos definidos por ilhas, esse recurso de projeto é chamado de interseção canalizada. Ilhas são áreas definidas entre as faixas de tráfego com a função de controlar e separar os movimentos dos veículos, servindo, também, como área de refúgio para pedestres e ciclistas em cruzamentos. As ilhas podem ser classificadas em três categorias, a partir das funções que desempenham, sendo elas [3]:

- (i) canalização: controlam e direcionam os movimentos do tráfego, geralmente em trechos curvos;
- (ii) divisão: dividem fluxos de tráfego opostos ou na mesma direção; e
- (iii) refúgio: fornecem refúgio para pedestres e ciclistas.

A maioria das ilhas combina duas ou, até mesmo, todas essas funções [3].

Ilhas de canalização controlam e direcionam os movimentos de tráfego para os caminhos adequados e são parte importante do projeto de interseções. Essas ilhas devem ser implantadas de modo que os movimentos de tráfego sejam imediatamente óbvios aos motoristas, além de serem fáceis de seguir e de continuidade inquestionável [3].

Ilhas divisórias geralmente são implantadas em interseções de rodovias de pista simples. Esse tipo de ilha é utilizado para alertar os motoristas da existência de uma interseção à frente, além de ordenar o tráfego na interseção. Ilhas divisórias são particularmente vantajosas no controle de conversões à esquerda e em locais onde existem faixas dedicadas a conversões à direita, gerando conforto e segurança aos usuários [3].

Ilhas de refúgio auxiliam pedestres e ciclistas que cruzam a via, separando a travessia em duas ou mais etapas. Também são utilizadas em locais de embarque e desembarque de passageiros. Assim, são localizadas próximas a pontos com demanda de usuários vulneráveis, geralmente em travessias urbanas dos tipos II e III [3].

Rotatórias vazadas, apesar de ainda serem utilizadas, são desaconselhadas para novos projetos de Segurança Viária, devido ao histórico de severidade dos acidentes ocorridos. Nesse tipo de dispositivo, o conflito de cruzamento ocorre com grande diferença de velocidade entre os diferentes fluxos. Ao mesmo tempo, veículos longos demandam intervalos de tempo significativos para realizar a manobra de cruzamento, durante os quais estão expostos a uma colisão. Por esses e outros motivos, é recomendado que as rotatórias vazadas recebam alterações de geometria para que sejam transformadas em rotatórias convencionais ou ainda rotatórias alongadas, de forma a fornecer maior distância de visibilidade, reduzir conflitos graves, além de proporcionar mais tempo e espaço para os motoristas reagirem às manobras de veículos vindos de outros ramos da interseção [7]. Caso não seja possível tal alteração, deve ser prevista sinalização adequada para informar e/ou alertar os motoristas da presença do dispositivo à frente, podendo ser associada à redução de velocidade.

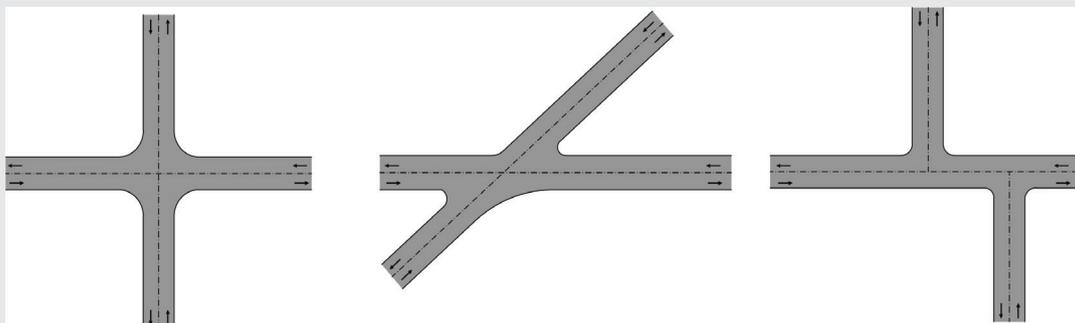
As interseções em nível mais comuns em rodovias são apresentadas no Box 3.

BOX 3

DISPOSITIVOS DE INTERSEÇÃO EM NÍVEL

A. Interseção simples com prioridade de passagem

Figura 9.7: Dispositivo de interseção em nível — interseção simples com prioridade de passagem



Fonte: elaborado pelo autor

Este tipo de interseção já foi muito comum em rodovias no passado, quando os volumes de tráfego, assim como as velocidades praticadas, eram mais baixos. Atualmente, seu uso exige cautela, já que os conflitos geram riscos de acidentes com severidade alta, como colisões transversais em conversões à esquerda. Só devem ser utilizadas em rodovias de pista simples com baixo volume de tráfego, tanto na via principal quanto na via secundária, e em condições de visibilidade apropriadas, como em ângulos de 90° a 75°. É necessário que a sinalização seja ostensiva e é aconselhável iluminação para melhorar as condições de visibilidade noturna. Também é recomendável que haja deflexões nas aproximações da via secundária para evitar que os usuários cruzem a via principal inadvertidamente.

Movimentos e conflitos: não elimina conflitos com risco de acidentes de maior severidade, tais como colisões transversais e colisões frontais.

Velocidade: permite que as aproximações tenham velocidades muito diferentes. Dependendo da posição da interseção e da condição de visibilidade pode ser necessário reduzir a velocidade na via principal.

Visibilidade: é preciso atenção às distâncias de visibilidade, sendo fundamental realizar uma avaliação criteriosa do dispositivo. Pode ser necessário, inclusive, deslocar o dispositivo, de forma a mitigar riscos à segurança. Também deve-se realizar a avaliação do triângulo de visibilidade.

VDM e VHP: este tipo de interseção só é admitido em rodovias com valores de VDM e VHP baixos.

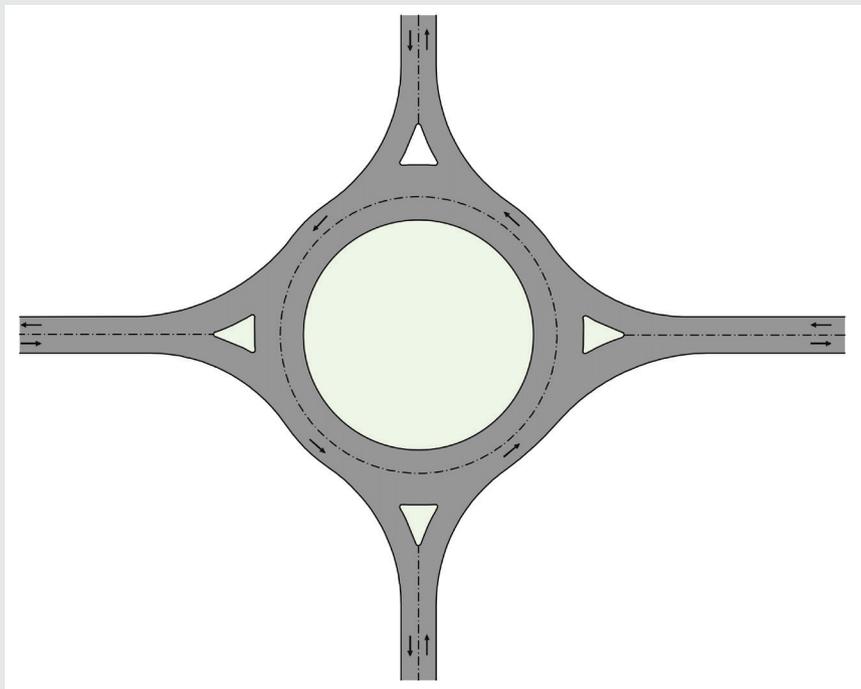
Classe da rodovia: mais indicado para vias de classe II, III e IV.

Usuários vulneráveis: a travessia na via principal pode ser insegura por conta da velocidade e dos intervalos disponíveis.

Características adicionais: interseções simples com prioridade de passagem podem ter as vias secundárias defasadas da via principal, para evitar o cruzamento da via principal em altas velocidades.

B. Rotatória

Figura 9.8: Dispositivo de interseção em nível — rotatória



Fonte: elaborado pelo autor

Rotatórias podem ser consideradas soluções muito eficientes em relação à Segurança Viária e, em razão disso, têm sido amplamente utilizadas. São interseções em nível que eliminam conflitos de cruzamento e provocam redução das velocidades nas aproximações e na via circular do dispositivo, diminuindo o diferencial de velocidade. Raios menores na via circular implicam em menores velocidades de tráfego, o que pode reduzir a capacidade do dispositivo. Assim, rotatórias com raios pequenos são adequadas apenas a vias com baixos volumes de tráfego.

Movimentos e conflitos: rotatórias eliminam conflitos de maior severidade, como conflitos transversais e frontais oriundos de conversões diretas à esquerda. Permitem, ainda, ângulos de visibilidade seguros para tomada de decisão em todas as aproximações. São indicadas para situações em que ocorre quantidade significativa de movimentos de cruzamento.

Velocidade: permite que os diferentes movimentos sejam realizados com baixas diferenças de velocidade, tanto na via circular como nas aproximações. Sua configuração geométrica deve ser pensada para promover a redução da velocidade em todas as aproximações. Recomenda-se, também, cautela na utilização de raios de maiores dimensões, já que esses tendem a induzir maiores velocidades na via circular, aumentando o diferencial de velocidades entre os movimentos ao redor da ilha central e nas aproximações.

Visibilidade: deve ser dedicada atenção especial para situações de implantação de rotatórias em curvas verticais convexas, uma vez que a visibilidade do dispositivo na aproximação pode ser comprometida. É recomendado que a ilha central receba tratamento para restringir a visibilidade através da interseção, contribuindo para a redução de velocidade nas aproximações.

VDM e VHP: este tipo de interseção pode ser admitido em rodovias com valores de VDM e VHP diversos. Devem ser avaliadas quanto à capacidade em situações de grande fluxo de tráfego, dependendo do raio do dispositivo e das condições de segurança.

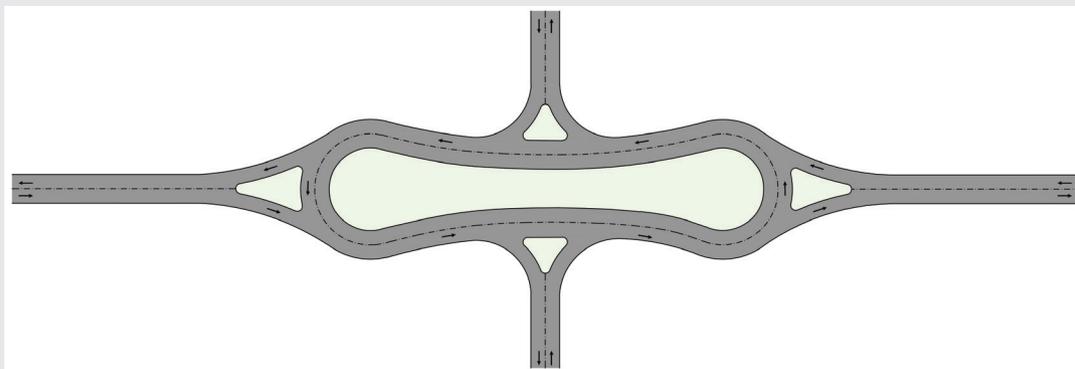
Classe: mais indicado para vias de classe IB, II, III e IV, em especial rodovias não duplicadas.

Usuários vulneráveis: impõem percursos maiores para travessia de pedestres e ciclistas. Deve ser analisada a necessidade de canalizações para a circulação de pedestres, de forma a evitar a circulação desses usuários pela ilha central.

Características adicionais: é indicado que as aproximações e a ilha central recebam iluminação.

C. Rotatória alongada

Figura 9.9: Dispositivo de interseção em nível — rotatória alongada



Fonte: elaborado pelo autor

As rotatórias alongadas têm sido uma solução bastante utilizada, tendo em vista resultados positivos em relação à Segurança Viária, devido à eliminação de conflitos transversais. Ao contrário do que sua denominação indica, operam como dois retornos associados e não como uma rotatória tradicional. No segmento entre os retornos consecutivos, em geral, são implantadas faixas duplas de tráfego para abrigarem movimentos de entrelaçamento. O retorno central alongado fornece refúgio para veículos que aguardam a oportunidade para conversão e, portanto, mantém o caminho livre para o tráfego de passagem.

Movimentos e conflitos: rotatórias alongadas eliminam conflitos de maior severidade, como conflitos transversais e frontais oriundos de conversões diretas à esquerda e de cruzamentos. Permitem ainda ângulos de visibilidade seguros para tomada de decisão sobre os movimentos. Apresentam conflitos de entrelaçamento.

Velocidade: sua configuração geométrica deve ser pensada para a redução moderada da velocidade em todas as aproximações e para a gestão da velocidade praticada no dispositivo, especialmente se o trecho de entrelaçamento entre os dois retornos for muito extenso.

Visibilidade: deve ser dedicada atenção especial para situações de implantação em curvas verticais convexas. Também, é preciso verificar a visibilidade para que os motoristas consigam visualizar corretamente o início da rotatória alongada.

VDM e VHP: rotatórias alongadas devem ser avaliadas quanto à capacidade em situações de elevado volume de tráfego.

Classe da rodovia: mais indicado para vias de classe IB, II e III, em especial rodovias não duplicadas.

Usuários vulneráveis: podem impor dificuldades para a travessia de pedestres, tendo em vista que as velocidades nos trechos tangentes são relativamente elevadas.

Características adicionais: é indicado que as aproximações e a ilha central recebam iluminação.

9.3 Dispositivos de acesso à rodovia e o papel das vias marginais

Acessos à rodovia são pontos de conexão entre a via principal e propriedades (privadas ou públicas), vias municipais ou postos de serviços. Dispositivos de acesso são constituídos por faixas de aceleração e de desaceleração, acompanhados de *tapers* (faixas de transição) [3]. Esses elementos propiciam espaço adequado aos veículos para realizarem manobras de aceleração ou desaceleração com segurança, sem provocar interferências no tráfego principal e sem a necessidade de parada, particularmente naquelas vias com velocidades operacionais altas e/ou volumes elevados. Dessa forma, facilitam as mudanças de velocidade dos veículos entre a via principal e as entradas e saídas, e fornecem tempo e distância suficientes para que os veículos da via principal façam ajustes, quando necessário, nas tarefas de orientação e de controle, a fim de permitir a entrada dos novos veículos, minimizar perturbações e reduzir o potencial de ocorrência de conflitos [3].

Faixas de aceleração e desaceleração são necessárias em acessos para que a mudança de velocidade não seja feita na pista principal, e devem apresentar comprimento e número de faixas suficientes para atender à demanda e à inclinação da rampa. Para tanto, são desejáveis *tapers* longos, para permitir a adequação da velocidade de forma segura e confortável. Para a sua implantação deve-se considerar fatores como: velocidade, volume de tráfego, efeitos de rampa, porcentagem de caminhões, capacidade, tipo de via, efeitos sobre pedestres e ciclistas, disponibilidade de faixa de domínio e

disposição e frequência dos acessos [3]. É desejável acompanhar o efeito de greide na determinação do comprimento das faixas, considerando [2]:

- greide ascendente: diminui o comprimento da faixa de desaceleração e aumenta o comprimento da faixa de aceleração;
- greide descendente: aumenta o comprimento da faixa de desaceleração e diminui o comprimento da faixa de aceleração.

A densidade de acessos é um fator que aumenta o risco e a frequência de acidentes, pois gera alterações no tráfego da rodovia, como movimentos de cruzamento e alterações de velocidades dos veículos devido à interferência constante na faixa principal. O espaçamento entre acessos deve ser suficiente para que seja possível executar manobras, sem interferências de outros acessos, interseções ou retornos, e fornecer o espaço requerido pela sinalização [2]. Por isso, deve-se controlar a disposição desses pontos, para que a distância entre eles não seja inferior a 500 metros [8].

Sendo assim, o controle de acessos é um fator determinante para a Segurança Viária e o nível de serviço da rodovia. Em rodovias de classe O é exigido um controle total de acessos. Em São Paulo, rodovias de classe IA possuem acessos controlados com limitações dos pontos de entrada e saída da rodovia principal. Para auxiliar no controle de acessos e na acomodação de veículos, podem ser adotadas vias laterais ou vias marginais. Vias laterais são faixas paralelas à rodovia principal, localizadas fora da faixa de domínio. Vias marginais são componentes da faixa de domínio, também implantadas longitudinalmente à via de tráfego controlado, as quais coletam o tráfego local e organizam o tráfego de entrada e saída da via principal. Existem dois tipos de vias marginais:

- a) vias marginais para mediação de acessos: são implantadas onde há muitos acessos diretos à rodovia. Apresentam apenas uma entrada e uma saída da rodovia, a fim de limitar as interferências na via principal;
- b) vias marginais de apoio para áreas urbanizadas: muitas vezes se faz necessário implantar vias paralelas à rodovia principal, para segregar o tráfego de viagens urbanas das viagens rodoviárias de longa distância.

As vias marginais devem ser implantadas quando houver disponibilidade na faixa de domínio, bem como na existência de um grande número de acessos ou para classes de rodovias mais altas. A via marginal permite adequar as diferenças de velocidade e separar as correntes de tráfego de viagens longas das curtas, uma vez que possuem comportamentos distintos.

O projeto geométrico dos dispositivos de acesso deve ser elaborado de forma a garantir distâncias de visibilidade seguras nos pontos de entrada e saída dos acessos, com comprimentos das faixas de aceleração e desaceleração compatíveis com as velocidades das vias e com os volumes dos acessos e respeitando o distanciamento mínimo entre os acessos. Devem ser previstos largura e comprimento suficientes para permitir que o motorista manobre o veículo com segurança [3].

Os acessos da via marginal precisam ser avaliados do ponto de vista da minimização de conflitos e redução de acidentes. As saídas devem simplificar a sinalização e a decisão do motorista, alinhar expectativas, uniformizar padrões da via, oferecer distância de visibilidade adequada e velocidades compatíveis. Para volumes de tráfego elevados, deve ser considerado um comprimento adicional nas faixas de desaceleração para acomodação de veículos que aguardam oportunidade para fazer a manobra [2].

9.4 Legibilidade e consistência do dispositivo

A atenção do motorista e a capacidade de processar informações são limitadas. As limitações podem criar dificuldades porque a tarefa de dirigir requer a divisão da atenção para controle, orientação e navegação⁶. Embora a atenção possa ser mudada rapidamente de uma fonte de informação para outra, os motoristas prestam atenção apenas a uma fonte de cada vez. As condições de tráfego e situações operacionais podem sobrecarregar os usuários. Quando a carga de informações que os motoristas são capazes de processar for excedida, eles tendem a negligenciar outras informações com base no nível de importância [5].

⁶ O conceito da tarefa de dirigir é abordado com mais detalhes no "Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes".

Dispositivos de interseções e de acessos, em geral, contêm maior número de movimentos e de conflitos de tráfego, devido às mudanças na direção dos veículos e à coexistência de usuários com desejos de viagem diferentes. São áreas que podem exigir a redução das velocidades praticadas e, também, podem apresentar maior número de faixas, presença de usuários vulneráveis e alteração no fluxo e na capacidade de operação da via.

Sendo assim, interseções e acessos caracterizam-se como áreas complexas da rodovia, que exigem um alto nível de atenção dos usuários, por apresentar maior quantidade de informações, o que dificulta a leitura e compreensão do dispositivo [5]. Diante disso, deve-se ter especial cuidado com o ordenamento dos movimentos dos veículos e com a legibilidade do dispositivo, para garantir a segurança dos usuários e evitar quebras de expectativas ao longo da via. Dispositivos complexos, com muitos ramos, podem, por exemplo, dificultar o entendimento das manobras de conversão.

Fatores que contribuem para acidentes em interseções se devem à concentração de atividades em uma pequena área, o que faz com que os motoristas tenham que tomar decisões rápidas. Por isso, quanto menor a quantidade de opções, menor a chance de erro, podendo ser evitadas freadas bruscas e manobras imprecisas [2].

Além disso, interseções e acessos são locais que exigem mais atenção aos usuários, pois há maior quantidade de informações na via e maior presença de usuários executando diferentes movimentos. Portanto, projetos seguros de dispositivos de interseções e de acessos devem prever a redução da carga de trabalho dos motoristas, sendo importante considerar aspectos como:

- a) apresentar informações com consistência e de maneira uniforme, conforme as normas, ao longo da rodovia;
- b) apresentar informações em sequência, em vez de todas de uma vez;
- c) apresentar somente as informações necessárias aos usuários, de forma que eles possam priorizar as informações mais importantes, reduzindo a carga de trabalho ao eliminar tarefas.

Essas considerações buscam acomodar as limitações humanas no processamento de informações ao projetar ambientes rodoviários de acordo com as expectativas do

motorista. Isso pode ser traduzido com projetos geométricos e de sinalização padronizados e consistentes. Boas práticas de projetos procuram criar e manter expectativa consistente nos usuários da via, como a implantação de dispositivos de mesmo tipo ao longo do trecho, padronização de direções de saídas da rodovia, de movimentos de conversão, de raios de curva etc.

Nesse contexto, a sinalização traduz o projeto geométrico ao usuário, ao prover informações claras, precisas e simples sobre a rodovia, direções de movimentos de conversão e localização de acessos e retornos. Dessa forma, a sinalização deve ser de fácil compreensão e deve ser implantada em locais apropriados, fornecendo tempo e espaço suficientes para que o condutor realize as manobras de maneira segura.

A inclusão de elementos de sinalização também deve respeitar um padrão e consistência na via. Ainda, locais com quebras de expectativas devem estar bem-sinalizados, a fim de alertar os condutores sobre a presença de uma interseção com configurações incomuns no trecho.

Além do projeto geométrico padronizado e da sinalização clara, muitas vezes é necessário utilizar elementos de iluminação, devidamente alocados e projetados para garantir a segurança dos usuários da via durante o período noturno. Afinal, dispositivos de interseção podem não ser identificados em condições de baixa luminosidade e seus elementos podem atuar como obstáculos fixos, representando um alto risco para a ocorrência de acidentes de maior severidade. A iluminação adequada garante a visibilidade do dispositivo e de suas aproximações, bem como permite que os motoristas observem a presença de usuários vulneráveis durante a noite.

Bifurcações e entroncamentos devem ser bem-sinalizados e incluir dispositivos de proteção para evitar choques de veículos com a infraestrutura ou até mesmo a queda de veículos em rampas de interseções em desnível. A inclusão de dispositivos de sinalização associada a elementos de contenção são fundamentais para garantir a segurança dos usuários [2].

Ilhas, canalizações, retornos, entroncamentos e outros elementos devem estar bem posicionados para que sejam visíveis em todos os ramos de chegada ao cruzamento. Nesses pontos, também deve ser prevista a continuidade de rotas, caracterizada

pela clareza na sinalização indicativa das faixas a seguir e das manobras a serem efetuadas durante todo o percurso [2].

Por fim, a distância de visibilidade nos ramos das interseções deve ser pelo menos igual à distância de visibilidade de parada. Nas interseções em desnível é desejável que a distância de visibilidade tenha um incremento em relação à distância mínima de visibilidade de parada, para que seja possível visualizar as rampas e as vias. Elementos como barreiras rígidas, pilares de ponte, defensas e taludes podem diminuir a visibilidade e devem ser considerados no projeto [2].

9.5 Critérios de segurança para projeto e seleção de dispositivos

Em termos de Segurança Viária, os principais aspectos que devem ser considerados na escolha de um dispositivo são: movimentos e conflitos; velocidade; VDM e VHP; visibilidade; classe da rodovia e presença de usuários vulneráveis.

Sendo assim, projetos de interseções devem ser concebidos para todos os grupos de usuários da rodovia: automóveis, caminhões de todos os tipos, ônibus (transporte público), motocicletas, bicicletas, pedestres, entre outros. Os projetistas devem utilizar medidas de desempenho e considerar as características locais para equilibrar as necessidades de todos os modos de transporte e usuários da rodovia no projeto de cada interseção [3].

O projeto contempla a rodovia, a área adjacente, as faixas de aceleração e desaceleração, os canteiros centrais e as ilhas. É um problema complexo, por isso, convém o projeto ser flexível — adequando os elementos físicos às características da via — e baseado no desempenho dos movimentos efetivos de cada usuário [3].

O projeto deve seguir princípios fundamentais, como reduções de velocidade e alinhamentos de faixa, além de considerar questões relacionadas ao motorista, como suas expectativas e comportamentos, independentemente do tipo de interseção e da

sua localização. Para garantir a segurança dos usuários, as seguintes considerações devem ser feitas [3]:

- a)** atentar-se para o posicionamento do dispositivo em relação ao alinhamento horizontal e vertical e a outros fatores que possam comprometer a segurança;
- b)** fornecer distância de visibilidade adequada;
- c)** atender à classe da rodovia e ao fluxo crítico esperado para a escolha do tipo de dispositivo;
- d)** fornecer o número e a atribuição de faixas adequados para a capacidade da interseção, bem como o volume de tráfego da pista;
- e)** reduzir o número de conflitos ou separá-los no espaço ou no tempo;
- f)** fornecer canalização intuitiva para os motoristas, que opere sem problemas, de modo que os motoristas utilizem naturalmente as faixas;
- g)** atender às necessidades de pedestres e ciclistas e às demandas de tráfego, desde que a favor da Segurança Viária;
- h)** reduzir a velocidade dos veículos dentro da interseção para um valor seguro;
- i)** fornecer acomodação (caixa) adequada para veículos;
- j)** ter sinalização adequada.

Os elementos fundamentais de projeto podem ser distribuídos em quatro grandes áreas: elementos físicos das vias, considerações de tráfego, fatores humanos e fatores socioeconômicos. O Quadro 9.3 apresenta as principais condicionantes de projeto de interseções, com especial atenção à sua influência na Segurança Viária [3].

Quadro 9.3: Elementos de projeto de interseções

Área	Elemento de projeto
Elementos físicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ características do projeto geométrico consistentes com a classe da rodovia, como: ângulo da interseção, área funcional, faixas auxiliares, alinhamentos verticais e horizontais; ▪ distância de visibilidade; ▪ caráter e uso de propriedade adjacente; ▪ organização dos movimentos e direito de passagem; ▪ dispositivos de controle de tráfego; ▪ vias de acesso; ▪ tratamentos de gerenciamento de acesso; ▪ tratamentos de obstáculos fixos; ▪ considerações sobre segurança dos dispositivos de drenagem; ▪ instalações para pedestres e ciclistas; ▪ passagens de pedestres (demarcadas e não demarcadas); ▪ equipamentos de iluminação; ▪ fatores ambientais (áreas de conservação etc.).
Considerações de tráfego	<ul style="list-style-type: none"> ▪ classificação e função de cada rodovia que se cruza; ▪ velocidade de projeto e velocidade operacional; ▪ ocorrência e severidade de acidentes; ▪ potenciais conflitos entre usuários; ▪ movimentos previstos de usuários (divergência, convergência, entrelaçamento e cruzamento); ▪ movimentos de conversão na hora pico; ▪ capacidade de operação; ▪ dimensões e características operacionais dos veículos; ▪ uso de transporte público e locais de parada.
Fatores humanos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hábitos de direção; ▪ expectativa do usuário; ▪ capacidade dos usuários de tomar decisões; ▪ tempo de reação e de tomada de decisão; ▪ adequação às trajetórias naturais dos movimentos; ▪ comportamento dos pedestres; ▪ comportamento dos ciclistas.



Área	Elemento de projeto
Fatores socioeconômicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ benefícios sociais pela redução da ocorrência e/ou severidade dos acidentes; ▪ benefício financeiro conferido pela redução de acidentes com mortes e feridos; ▪ custos de melhorias e benefícios esperados; ▪ custos de manutenção; ▪ consumo de energia.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [3]

Os critérios de projeto incluem a classe da rodovia, o volume de tráfego (atual e previsto) de cada grupo de usuários da interseção, as direções e os movimentos de conversão, a velocidade de projeto para cada aproximação e para a própria interseção, a geometria da interseção (alinhamento horizontal e vertical e tipo de interseção) e o controle de tráfego desejado [3].

Devem ser realizadas análises de desempenho operacional e de Segurança Viária para determinar a configuração adequada da interseção, inclusive com o apoio de ferramentas computacionais, como *softwares* de microsimulação de tráfego. No caso de interseções existentes cujo desempenho é conhecido, pode-se utilizar esses dados para auxiliar no dimensionamento visando a melhoria de cruzamentos com desempenho insatisfatório [3].

As soluções de projeto têm por objetivo separar os conflitos, principalmente os mais graves, no espaço e no tempo. Dessa forma, é possível reduzir os pontos de conflito, os ângulos de conflito, as variações nas velocidades dos veículos e, por consequência, a probabilidade de acidentes. O uso de interseções em desnível é capaz de separar os conflitos no espaço. Já o uso de rotatórias alongadas, por exemplo, consegue distribuir a decisão do motorista em etapas, o que propicia tempo e distância adequados para a aceitação de intervalos entre veículos. As avaliações dos tipos de interseções e quais podem ser selecionadas para projeto e implantação devem considerar princípios socioeconômicos e avaliar benefícios [2], conforme apresentado com mais detalhes no “Capítulo 14 — Avaliação econômica e monitoramento de projetos implantados”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BROCKENBROUGH, Roger L. **Highway Engineering Handbook. Building and rehabilitating the infrastructure.** 3° edição. Nova Iorque: The McGraw-Hill Companies, 2009.
- [2] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Projeto de Interseções.** Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- [3] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.** 7ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2018.
- [4] PONTES FILHO, Glauco. **Estradas de rodagem: Projeto Geométrico.** São Carlos, Brasil, 1998.
- [5] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Highway Safety Manual.** 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2010.
- [6] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **Road Safety Information Analysis: A Manual for Local Rural Road Owners.** Estados Unidos, 2011
- [7] FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto “Coca” et al. **Segurança Viária.** Ed: Suprema Gráfica e Editora. São Carlos, SP, Brasil, 2012.
- [8] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **O Manual de Acesso de Propriedades Marginais a Rodovias Federais.** Rio de Janeiro, Brasil, 2006.



TRAVESSIAS URBANAS

Nas últimas décadas, a expansão urbana tem levado à ocupação de áreas no entorno de rodovias. Em geral, cidades de pequeno e médio porte tendem a apresentar crescimento linear ao longo das rodovias [1], que acabam por se tornar importantes eixos de transporte urbano e participam ativamente do desenvolvimento das economias locais [2]. Nesses casos, pode ser necessário adaptar rodovias concebidas como rurais, para acomodar as demandas de deslocamentos urbanos [3].

Os trechos rodoviários que passam por áreas urbanizadas apresentam desafios de segurança no projeto e na operação, especialmente quando o segmento viário tem demandas conflitantes de fluidez e acessibilidade, e há a presença de usuários vulneráveis deslocando-se próximos à pista [2]. Neste capítulo, são definidas como “travessias urbanas” as vias rurais que atravessam áreas urbanizadas, delimitadas ou não, por perímetros urbanos, e que podem apresentar diferentes níveis de interação com o ambiente do entorno e de interferência no tráfego. Em alguns casos, a integração com a área urbana pode ser tão intensa que a rodovia acaba por adquirir características de via urbana. Nesses casos, os projetistas e operadores de rodovias têm a responsabilidade de definir o melhor equilíbrio entre mobilidade e acessibilidade, considerando a segurança de todos os usuários da via.

BOX 1

DIFERENÇAS ENTRE TRAVESSIAS URBANAS



Este Manual diferencia as rodovias paulistas que cruzam áreas urbanizadas em três tipologias:

- **Tipo I:** rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada, sem influência do tráfego local;
- **Tipo II:** rodovias atravessando áreas de influência urbana com passagem perturbada;
- **Tipo III:** rodovias atravessando áreas urbanizadas.

As travessias urbanas do tipo I ocorrem, normalmente, em vias com controle de acessos, como é o caso das rodovias classe O ou IA em trechos segregados, sendo usualmente duplicadas ou de múltiplas faixas. Este capítulo não aborda as travessias do tipo I, visto que o tráfego rodoviário se desloca sem sofrer perturbação do tráfego local. O trecho da SP-147, no contorno de Mogi Mirim, em São Paulo, apresentado na Figura 10.1, representa este tipo de rodovia.

Figura 10.1: Exemplo de travessia urbana tipo I



Fonte: acervo DER/SP

Travessias urbanas do tipo II atravessam áreas urbanas densamente povoadas, com diversos acessos às áreas lindeiras, e possuem uma ou mais faixas por sentido. Podem sofrer um aumento significativo no volume de tráfego devido ao fluxo veicular que utiliza a rodovia para deslocamentos intraurbanos. Esse fluxo apresenta características de tráfego urbano — características de tipo de viagem e comportamento dos motoristas — e interfere no tráfego dos veículos com viagens rodoviárias de longo percurso. Além disso, nesse tipo de travessia pode ocorrer a presença de pedestres e ciclistas, que utilizam a rodovia para deslocamentos ou cruzamentos, exigindo medidas de segurança adicionais.

Para acomodar essas demandas do tráfego local e dos usuários vulneráveis (pedestres e ciclistas), recomenda-se a implantação de vias marginais nas travessias do tipo II. É importante também, atentar-se ao projeto de interseções na região, já que estas tendem a ser utilizadas para a transposição da rodovia pelo tráfego local. A Figura 10.2 apresenta um exemplo de travessia urbana do tipo II, no trecho da Rodovia SP-332 em Artur Nogueira, São Paulo.

Figura 10.2: Exemplo de travessia urbana tipo II



Fonte: acervo DER/SP

Travessias urbanas do tipo III são trechos onde a rodovia atravessa áreas urbanizadas, adquirindo características físicas e operacionais totalmente urbanas, como: passeios e uso do solo lindeiro tomado por edificações do tipo residencial, comercial e de serviços; elevado tráfego de veículos locais; velocidades baixas; e presença de pedestres e ciclistas. Dessa forma, o tráfego com comportamento rodoviário (velocidades altas e grande número de veículos pesados) interage com o tráfego local (veículos mais lentos e motoristas menos atentos).

Medidas moderadoras de tráfego são recomendadas para garantir a segurança de todos os usuários da via, sobretudo de usuários vulneráveis. É importante dedicar atenção especial às interseções entre a rodovia e as vias locais, as quais demandam desenhos seguros e a inclusão de eventual semaforização quando o tráfego for intenso. Um exemplo de travessia urbana do tipo III é o trecho da Rodovia SP-107 em Artur Nogueira, São Paulo, apresentado na Figura 10.3.

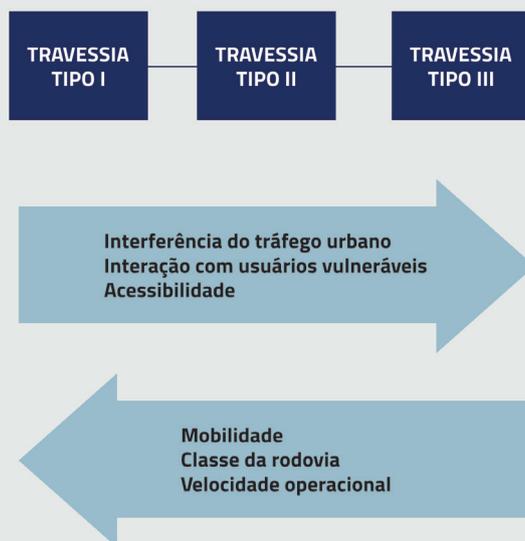
Figura 10.3: Exemplo de travessia urbana tipo III



Fonte: acervo DER/SP

A seguir, a Figura 10.4 ilustra as principais características dos três tipos de travessias urbanas comumente encontradas nas rodovias paulistas.

Figura 10.4: Tipologias e características das travessias urbanas



Fonte: elaborado pelo autor

Usualmente, as travessias urbanas localizam-se em áreas com concentração populacional e, por esse motivo, sofrem impactos nos volumes de tráfego, nas condições de fluidez e nas velocidades operacionais. Problemas de Segurança Viária nessas regiões são comumente relacionados ao intenso desenvolvimento marginal, às faixas de domínio restritas, às interseções com o viário urbano, às entradas e saídas de propriedades com acesso direto à rodovia e à maior variedade de usuários, incluindo veículos de transporte de passageiros, caminhões, ciclistas e pedestres [3].

Assim, um aumento na ocorrência de acidentes é esperado em travessias urbanas quando esses segmentos viários não são adaptados às interações com o tráfego local e com usuários vulneráveis. Esse aumento no número de acidentes pode ocorrer mesmo na presença de esforços para implantação de medidas mitigatórias, como os contornos rodoviários nas cidades [4]. Além disso, podem ocorrer subnotificações dos acidentes nas travessias urbanas, em decorrência dos atendimentos realizados por diferentes agentes e pela falta de compatibilização das bases de dados de acidentalidade. Bases de dados consolidadas, como a administrada pelo estado de São Paulo, buscam minimizar a subnotificação de acidentes de trânsito.

Neste capítulo são apresentadas as principais características dos três tipos de travessias urbanas encontradas em rodovias paulistas, ressaltando-se as diferentes funções (relação mobilidade *versus* acessibilidade), as diferentes abordagens na elaboração do projeto viário e os diferentes problemas de Segurança Viária encontrados em cada uma delas. Além disso, são apresentadas as principais medidas moderadoras de tráfego, adotadas em travessias dos tipos II e III para controlar a velocidade do tráfego.

10.1 Mobilidade e Acessibilidade

As rodovias que atravessam áreas de influência urbana (tipo II) ou áreas urbanizadas (tipo III), apresentam confluência entre o tráfego rodoviário e o tráfego local, o que provoca conflitos entre a demanda por maior mobilidade e a demanda por maior acessibilidade. Mobilidade é a capacidade do sistema viário atender à demanda de tráfego, minimizando as dificuldades de deslocamento. Acessibilidade é a facilidade de aproximar o tráfego local às atividades urbanas, aumentando o número de conexões ao

sistema viário [1]. Portanto, quanto maior for a mobilidade de uma via, menor será sua acessibilidade.

O Quadro 10.1 apresenta as características de projeto e de controle de tráfego para as diferentes tipologias de travessias urbanas presentes nas rodovias paulistas.

Quadro 10.1: Características de projeto e de controle de tráfego das travessias urbanas paulistas

Características de projeto e de controle de tráfego	Tipo I Rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada	Tipo II Rodovias atravessando áreas de influência urbana com passagem perturbada	Tipo III Rodovias atravessando áreas urbanizadas
Cruzamentos com outras rodovias e vias	Cruzamento em desnível	Cruzamento em nível ou desnível	Cruzamento em nível
Controle de tráfego nas interseções	Total: acessos somente com cruzamentos em desnível ou por meio de vias marginais	Parcial: sinalização de parada nas vias secundárias, acesso por agulhas ou vias marginais	Parcial: sinalização de parada nas vias secundárias, acesso por rotatórias
Acesso a propriedades adjacentes	Restrito	Restrito ou livre	Livre
Travessia de pedestres	Em desnível	Em desnível e, em casos excepcionais, travessias em nível com sinalização específica, iluminação e controle eletrônico de velocidade	Em nível: faixa de pedestres com ou sem refúgio, com ou sem controle eletrônico de velocidade
Vias marginais	Onde necessário	Onde necessário	Não
Canteiro central	Sempre	Onde necessário	Geralmente não
Estacionamento	Proibido	Proibido	Controlado
Acostamento	Sempre com largura total	Com largura total ou parcial	Pode estar ausente, tomado por área de estacionamento urbano, ou preservado

Fonte: elaborado pelo autor

Em segmentos de rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada (tipo I) e rodovias atravessando áreas de influência urbana com passagem perturbada (tipo II), os acessos devem ser controlados e limitados, de modo a minimizar conflitos e evitar manobras inseguras.

Faixas de aceleração e desaceleração, tanto para acessos quanto para paradas de ônibus, devem ser projetadas de acordo com a velocidade da via principal [1]. Destaca-se que as baias de ônibus¹ devem ser inseridas com projeto adequado, que considere a segurança dos usuários. O DER/SP disponibiliza recomendações para a elaboração de projetos de parada de transporte coletivo no documento Projeto Padrão de Plataforma para Ponto de Ônibus [5]. Alternativamente, o Manual de Acesso de Propriedades Marginais a Rodovias Federais [6] e o Manual de Projeto de Interseções [7] podem ser consultados para auxiliar nesses projetos.

No entanto, nem sempre é simples identificar a tipologia de uma travessia urbana (ver Figura 10.4), podendo existir casos de aspectos distintos em um mesmo trecho, devido às particularidades locais. Por isso, a determinação das características da travessia urbana deve ser feita com cautela, analisando caso a caso. Uma rodovia que atravessa uma área urbanizada, por exemplo, pode ter múltiplas faixas e ser a via principal de circulação da cidade, mas também fornece acesso a uma escola, onde medidas de sinalização e redução da velocidade podem ser necessárias para garantir a segurança da comunidade do entorno escolar.

O tratamento adequado de qualquer travessia urbana depende, primordialmente, da função que a rodovia desempenha para os usuários: mobilidade ou acessibilidade. Em rodovias que atravessam áreas urbanizadas (tipo III), é importante conciliar a acessibilidade dos usuários com a Segurança Viária, especialmente pela presença de usuários vulneráveis e de diferentes tipos de viagens, que aumentam o número de conflitos de tráfego. No caso das travessias urbanas do tipo II, os projetos devem garantir um equilíbrio entre a mobilidade e a acessibilidade, sempre priorizando a segurança de todos os usuários, uma vez que há aumento no fluxo e no número de conflitos de tráfego. Rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada (tipo I) não

¹ Informações mais detalhadas sobre baias de ônibus podem ser encontradas no “Capítulo 11 — Considerações sobre usuários vulneráveis”.

apresentam conflitos com o tráfego local, visto que os acessos são controlados e não deve haver circulação de usuários vulneráveis.

A fim de projetar um Sistema Seguro, é necessário, muitas vezes, renunciar à fluidez do tráfego veicular, reduzindo as velocidades permitidas, para promover travessias seguras em trechos urbanizados. Mesmo concebidas como rodovias, vias rurais que adquirem características urbanas também devem permitir a passagem segura de usuários vulneráveis. Cada solução deve estar adequada às particularidades das dimensões da área urbanizada que a rodovia atravessa, da classe da rodovia, e considerando o tipo de travessia e sua extensão [8].

São comuns os casos em que cidades desenvolveram suas economias vinculadas à rodovia. Em razão disso, os habitantes dependem da infraestrutura instalada e da mobilidade que a rodovia proporciona para a realização das diversas atividades cotidianas e para o acesso às oportunidades econômicas, sociais ou educacionais. Em muitos casos, o que se observa, após a construção de um contorno rodoviário, é a migração de atividades econômicas para o entorno do novo traçado da rodovia e o consequente crescimento da cidade nesta direção [1]. Sendo assim, recomenda-se cautela nas proposições de contornos rodoviários, tomando cuidado para que se preserve a mobilidade do contorno com regulamentação da faixa de domínio e controle de acessos, de forma a minimizar os problemas de Segurança Viária.

10.2 Principais zonas e elementos em uma travessia urbana

Uma característica importante dos projetos seguros das travessias urbanas é a adaptação à mudança da paisagem, quando o motorista deixa a zona rural e entra na zona da travessia urbana. Para minimizar o impacto visual e consequentes situações de perigo, assim como, para auxiliar o motorista a adaptar seu comportamento a um contexto com mais usuários vulneráveis e velocidade reduzida, recomenda-se a introdução de uma zona de aproximação. Essa zona é especialmente importante no caso de rodovias que sofrem mais perturbação da área urbana.

Assim, as travessias urbanas do tipo II e III podem ser divididas em duas zonas: (i) a zona de aproximação e (ii) a zona de travessia de área urbanizada ou área de influência urbana. Em ambas as zonas, é importante que o motorista seja informado, de maneira clara, sobre o comportamento que deve adotar, seja por meio de sinalização vertical e horizontal, ou mesmo de painéis de mensagens variáveis² e iluminação.

Nas zonas de aproximação, as seguintes medidas devem ser consideradas [9]:

- implantação de sinalização horizontal e vertical apropriada, onde é necessário informar, regulamentar e advertir da aproximação e da entrada na área urbanizada ou na área de influência urbana;
- redução de velocidade, quando necessário;
- redução de faixas, se necessário.

Ressalta-se a importância de implantar corretamente os elementos de transição, localizados na zona de aproximação e/ou na zona urbanizada atravessada pela rodovia. A transição entre diferentes zonas deve ser notável para que seja eficaz. Sugere-se projetar mudanças na geometria da via e no paisagismo, como ajuste de faixas e de traçado por meio de medidas moderadoras de tráfego, de modo a induzir mudanças no comportamento do motorista. Também, podem ser implantados tratamentos de entrada, que indicam a mudança de ambiente e demarcam a entrada da cidade. A depender de sua configuração, esses elementos podem, inclusive, reduzir a velocidade dos veículos antes de ingressarem no trecho urbano. O uso de sinalização horizontal e vertical também auxilia a transição visual do ambiente [9].

A zona de travessia da área urbanizada ou da área de influência urbana, por sua vez, é aquela na qual há maior número de comércios, serviços e habitações com acesso direto à rodovia, e conseqüentemente, maior circulação de pedestres e ciclistas. É recomendado o uso de um conjunto de medidas moderadoras de tráfego para garantir que os veículos trafeguem no limite estabelecido e que todos os usuários da via estejam em segurança. Nesses casos, a rodovia passa a ter caráter urbano e o tráfego deve comportar-se como tal.

² Mais informações sobre os tipos de sinalização viária podem ser consultadas no “Capítulo 7 — Projeto seguro de rodovias” no item “7.4 — Sinalização”.

Os elementos de transição nas travessias urbanas do tipo III indicam ao motorista a entrada em área urbanizada e, portanto, devem orientar uma alteração do seu comportamento, como a redução da velocidade e o aumento da atenção para a presença de usuários vulneráveis.

Nas travessias urbanas do tipo II, o projeto deve atentar-se às travessias de pedestres, aos acessos para veículos com viagens de curtas distâncias e às interseções. Nesses segmentos, podem ser adotadas medidas como redução de velocidade e controle de acessos, bem como iluminação, implantação de vias marginais e passarelas e/ou telamento, onde necessário.

Ao fim da zona de travessia inicia-se a zona de retorno à velocidade normal, onde novamente devem ser instalados elementos de transição, como a sinalização e liberação do tráfego para retomar os padrões da condição de via rural no desenho viário.

10.3 Principais problemas de Segurança Viária em travessias urbanas

Muitos problemas de Segurança Viária relacionados às travessias urbanas estão associados aos conflitos entre o tráfego local e o tráfego rodoviário e entre usuários vulneráveis e veículos motorizados. Essas características expõem os usuários da via a mais riscos de se envolverem em acidentes. Nesse cenário potencialmente conflituoso, é necessário desenvolver ações no âmbito da Segurança Viária e propor soluções adequadas a cada situação [1], [10]. O Quadro 10.2 resume e exemplifica os principais conflitos e causas de acidentes em travessias urbanas, de acordo com as tipologias anteriormente identificadas.

Quadro 10.2: Principais problemas de Segurança Viária em travessias urbanas

	Tipo I Rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada	Tipo II Rodovias atravessando áreas de influência urbana com passagem perturbada	Tipo III Rodovias atravessando áreas urbanizadas
Principais conflitos	<ul style="list-style-type: none"> conflitos semelhantes aos demais trechos da rodovia. 	<ul style="list-style-type: none"> conflitos entre tráfego local e rodoviário; conflitos entre veículos motorizados (cruzamentos); eventuais conflitos entre veículos motorizados e usuários vulneráveis. 	<ul style="list-style-type: none"> coexistência entre tráfego rodoviário e local; conflitos entre veículos motorizados e usuários vulneráveis; conflitos entre veículos motorizados (cruzamentos).
Principais causas de acidentes em travessias urbanas	<ul style="list-style-type: none"> eventuais variações de densidade e/ou velocidade do fluxo, em função de acessos oficiais. 	<ul style="list-style-type: none"> mudanças de velocidade em função de manobras de entrada e saída; entrelaçamentos; paradas bruscas; ocorrência de filas em acessos; complexidade na tomada de decisões. 	<ul style="list-style-type: none"> conflitos com usuários vulneráveis; conflitos em movimentos de conversão e cruzamentos nas interseções; complexidade na tomada de decisões.
Principais acidentes que ocorrem em travessias urbanas	<ul style="list-style-type: none"> acidentes semelhantes aos demais trechos da rodovia, especialmente colisão traseira. 	<ul style="list-style-type: none"> atropelamentos; colisão transversal; colisão traseira; colisão frontal. 	<ul style="list-style-type: none"> atropelamentos; colisão transversal; colisão traseira; colisão frontal.



	Tipo I Rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada	Tipo II Rodovias atravessando áreas de influência urbana com passagem perturbada	Tipo III Rodovias atravessando áreas urbanizadas
Situações de risco	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ausência de infraestrutura afastada e protegida para usuários vulneráveis, ou em desnível, quando necessário; ▪ perturbações nas condições de visibilidade devido a informações situadas fora da faixa de domínio; ▪ riscos semelhantes aos demais trechos da rodovia. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ conflitos em entradas e saídas de acessos; ▪ embarque e desembarque de passageiros de transporte coletivo junto ao acostamento; ▪ travessias de pedestres mal sinalizadas e não iluminadas; ▪ perturbações nas condições de visibilidade em razão de informações situadas fora da faixa de domínio; ▪ faixas de aceleração e desaceleração inadequadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ diferencial de velocidade e energia entre os diversos usuários; ▪ ausência de infraestrutura para pedestres; ▪ embarque e desembarque de passageiros de transporte coletivo junto ao acostamento ou calçada; ▪ ausência de estacionamento junto às propriedades comerciais; ▪ travessias de pedestres mal sinalizadas e não iluminadas; ▪ circulação desordenada de pedestres, ciclistas, animais, carroças, tratores etc.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [11], [12]

10.4 Critérios de projeto em travessias urbanas

Tradicionalmente, soluções para os problemas de segurança em travessias urbanas mencionados consideram três tipos principais de soluções:

- (i) medidas moderadoras de tráfego, para garantir que as velocidades do tráfego rodoviário sejam adequadas aos conflitos e à presença de usuários vulneráveis nas travessias urbanas;
- (ii) implantação de vias marginais, configurando-se como uma forma de mediação entre os fluxos de passagem do tráfego rodoviário e o tráfego local; e
- (iii) construção de contornos rodoviários, redirecionando o tráfego rodoviário e eliminando o conflito entre a área urbanizada e a rodovia.

A proposição de tratamentos efetivos para Segurança Viária baseia-se em variáveis que se alteram com o tempo, como variáveis demográficas, geográficas, econômicas, ambientais, entre outras [1]. O acompanhamento desses indicadores é essencial para a elaboração de propostas efetivamente seguras. Deve-se considerar, também, que as soluções de Segurança Viária podem se alterar ao longo do tempo, na mesma medida que tais indicadores se transformam.

O Quadro 10.3 apresenta soluções de Segurança Viária que levam em conta as demandas de mobilidade do tráfego rodoviário e a acessibilidade às comunidades lindeiras pelo tráfego local. É importante considerar com cautela o tipo de travessia urbana que está sendo projetada ou requalificada (tipos I, II ou III). No caso de uma rodovia atravessando área urbanizada (tipo III), as medidas mais recomendadas são aquelas que conciliam a acessibilidade da comunidade com a segurança dos usuários, especialmente para promover a redução de velocidade e direcionar os acessos e os cruzamentos a locais com boa visibilidade e iluminação adequada. Já no caso de rodovias atravessando áreas de influência urbana com passagem perturbada (tipo II), recomenda-se, sempre que possível, separar o tráfego local e os usuários vulneráveis do tráfego rodoviário, por meio de vias marginais e cruzamentos em desnível. Quando não for possível separar o tráfego, deve-se reduzir a velocidade permitida e realizar o controle de acessos. Em rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada (tipo I), os projetos devem priorizar o controle dos acessos e vias alternativas para o tráfego local, bem como cruzamentos em desnível.

Quadro 10.3: Soluções de Segurança Viária em travessias urbanas

Objetivos de projeto	Objetivos de projeto	Diretrizes dos estudos e projetos
<p>Tipo I</p> <p>Rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ preservação da capacidade da rodovia e manutenção de padrões aceitáveis de operação em termos de fluidez e segurança 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ controle de acessos; ▪ construção de vias marginais, de modo a evitar conflitos; ▪ separação física dos fluxos de usuários vulneráveis, onde necessário; ▪ consideração da implantação de contornos rodoviários.
<p>Tipo II</p> <p>Rodovias atravessando áreas de influência urbana com passagem perturbada</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ reordenamento do uso do solo na área de influência da rodovia; ▪ compatibilização das redes viárias, local e regional; ▪ adequação das velocidades, minimizando a redução de capacidade e das velocidades operacionais. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ controle de acessos e hierarquização do sistema viário local na área de influência da rodovia para proteção dos trechos rodoviários urbanos; ▪ imposição de graus de bloqueio ao trecho, permitindo manobras apenas em interseções e acessos autorizados; ▪ separação física do fluxo veicular e de usuários vulneráveis; ▪ construção de vias marginais para acessos; ▪ construção de infraestrutura adequada para pedestres e ciclistas; ▪ implantação de iluminação pública adequada para todos os usuários da via; ▪ sinalização horizontal separando os fluxos de tráfego; ▪ construção de baias para paradas de ônibus; ▪ construção de locais de estacionamento específicos nas áreas urbanizadas sem interferir na rodovia; ▪ refúgios centrais para travessias de pedestres em dois tempos; ▪ inclusão de sinalização adequada e semáforos, se necessário, para movimento de pedestres e ciclistas; ▪ implantação de redutor eletrônico de velocidade para controle de velocidade do segmento e interseções; ▪ utilização de pavimento diferente para identificação de acessos; ▪ definição dos locais de ingresso e egresso na rodovia entre interseções; ▪ implantação de retornos operacionais em segmentos de pista dupla; ▪ duplicação de pista com canteiro central seguro ou protegido.



Objetivos de projeto	Objetivos de projeto	Diretrizes dos estudos e projetos
<p>Tipo III</p> <p>Rodovias atravessando áreas urbanizadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ planejamento e operação das rodovias, de modo a integrá-las ao espaço urbano, promover a redução das velocidades operacionais, do diferencial de energia e dos conflitos, minimizando os impactos negativos, tais como acidentes, seccionamento, entre outros. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ atendimento simultâneo das demandas do tráfego rodoviário e à comunidade local, o que pressupõe a participação das partes na tomada de decisões; ▪ desenvolvimento de projetos em estreita articulação com as entidades locais, prevendo-se a participação dos diversos níveis de governo nos investimentos necessários à sua implementação; ▪ implantação de iluminação pública adequada para todos os usuários da via; ▪ redução da velocidade permitida de operação no segmento viário, com limite entre 30 km/h e 60 km/h; ▪ sinalização horizontal separando os fluxos de tráfego; ▪ implantação de rotatórias e interseções seguras para acessos à cidade; ▪ adequações geométricas das interseções existentes de acesso à cidade; ▪ inclusão de sinalização adequada e semáforos para movimento de pedestres e ciclistas, se necessário; ▪ implantação de redutor eletrônico ou físico de velocidade para controle de velocidade do segmento; ▪ instalação de sinalização indicativa de início e fim da área urbanizada; ▪ construção de infraestrutura adequada para pedestres e ciclistas.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [9], [11]

Um projeto seguro de rodovias, deve atentar-se a questões de segurança especialmente nas laterais das travessias urbanas e nas interseções e suas aproximações, em razão da transição do ambiente rural para urbano. O Quadro 10.4 apresenta medidas a serem adotadas para tais locais.

Quadro 10.4: Critérios de projeto

Local	Medida
Acostamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ minimizar o uso do acostamento para o trânsito de ciclistas e pedestres, implantando infraestrutura adequada para o deslocamento desses usuários — a presença de usuários vulneráveis nos acostamentos é um fator de risco à ocorrência e severidade de acidentes; a área deve ser, preferencialmente, de uso exclusivo dos veículos motorizados em caso de acidentes, perda de controle e manobra adicional; ▪ em travessias urbanas do tipo III, deve-se priorizar a implantação de calçadas laterais o mais afastadas possível da rodovia para o tráfego de usuários vulneráveis. Além disso, é desejável manter os acostamentos do trecho.
Acessos e interseções	<ul style="list-style-type: none"> ▪ limitar o número de pontos de conflito, sobretudo, conflitos de cruzamento de veículos; ▪ separar os movimentos de conflito; ▪ segregar veículos que executam manobras de conversão; ▪ prever comprimento adequado (“caixa”) para acomodar o tráfego em acessos ou locais que apresentam restrições de capacidade, de forma a evitar a ocorrência de filas na rodovia; ▪ projetar uniformemente todos os dispositivos em travessias urbanas de uma mesma rodovia, de maneira a garantir que não haja quebra da expectativa dos motoristas; ▪ garantir boas condições de segurança para entrada e saída da rodovia, bem como, para pontos de entrelaçamento.
Via marginal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ implantar vias marginais em áreas urbanas com intenso tráfego local e/ou rodoviário, para permitir a transição das velocidades praticadas na rodovia para a velocidade das vias locais; ▪ controlar os acessos à rodovia, permitindo que o tráfego local não interfira no tráfego rodoviário; ▪ estabelecer sentido único de percurso para minimizar problemas potenciais em interseções.
Segmento de aproximação à travessia urbana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ possibilitar que os usuários motorizados façam a transição das condições de operação do tráfego rural para o tráfego urbano ao ingressar nesta área, por meio de sinalização específica; ▪ criar paisagismo integrado, proporcionando transição suave entre zona urbana e zona rural, com geometria e sinalização que apresentem clara legibilidade da mudança de ambiente para os motoristas; ▪ criar mudança de velocidade gradual.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [3]

As rodovias que passam por perímetro urbano em situação segregada (tipo I) têm projeto similar às rodovias localizadas em ambiente completamente rural e, por isso, para o desenvolvimento do projeto e plano de operação, pode-se consultar os demais capítulos deste Manual. Este capítulo tem como foco os trechos de rodovias que sofrem mais influência das características urbanas (tipo II e tipo III).

10.5 Medidas moderadoras de tráfego

Em qualquer projeto de rodovia, a velocidade deve ser compatível com as condições e circunstâncias locais, de forma a garantir a segurança de todos os usuários. Especialmente em travessias urbanas do tipo III, onde coexistem veículos leves e pesados e há uma quantidade significativa de pedestres e ciclistas, é importante que os motoristas se desloquem com velocidades que sejam condizentes com a fragilidade humana.

Mudanças na geometria da via podem induzir a redução da velocidade. A essas mudanças damos o nome de medidas moderadoras de tráfego (*traffic calming measures*, em inglês). Elas devem ser implantadas em locais cujas velocidades são incompatíveis com a segurança e trazem risco aos usuários que circulam pela via. Além disso, devem ser implementadas e reavaliadas ao longo do tempo, para que se adaptem às mudanças de uso da via e do comportamento dos motoristas.

Os principais objetivos das medidas moderadoras de tráfego para a Segurança Viária são [9]:

- reduzir as velocidades operacionais, considerando a fragilidade dos usuários vulneráveis, a diminuição do diferencial de energia e da severidade dos acidentes;
- reduzir o número de locais com grande potencial de acidentes;
- aumentar o nível de alerta e auxiliar no comportamento seguro.

Nas travessias em que há maior influência das características urbanas (tipos II e III), o conflito entre pedestres, ciclistas e veículos motorizados deve ser considerado na definição da velocidade segura mais adequada, tanto em relação às demandas de

mobilidade como em relação às demandas de acessibilidade. Na maior parte dos casos, após a análise da perturbação que a via sofre ao entrar na área urbana, é necessário reduzir a velocidade. Se esse conflito entre os usuários ocorrer apenas nas vias marginais, a velocidade deve ser reduzida apenas nesses trechos. Caso o conflito ocorra também nas pistas expressas, sugere-se reduzir a velocidade ao longo de todo o segmento de travessia urbana, para proporcionar segurança aos usuários.

De maneira geral, as travessias urbanas não são homogêneas. Há variações na densidade de acessos, no fluxo de tráfego, no uso do solo, entre outros aspectos. Desse modo, estabelecer um limite de velocidade único pode ser inadequado, visto que pode incorrer em riscos de má operação da via, diminuição da capacidade e piora do nível de serviço, além de não promover benefícios à segurança. Para a determinação da velocidade³, sugere-se uma análise por segmentos homogêneos, considerando dois aspectos principais: melhoria da segurança (redução do número e/ou da severidade dos acidentes) e otimização da operação da via [9].

Para escolher a medida mais adequada a cada localidade, deve-se, primeiramente, avaliar com cuidado o sistema viário e os fatores contribuintes para os acidentes. As medidas moderadoras de velocidade devem ser implementadas de forma sistêmica, baseadas na compreensão da rodovia e de todos os elementos que a constituem. Mesmo que seja uma medida pontual, seu efeito será benéfico se for avaliado em conjunto com outras características da via. Para auxiliar nesse processo, pode-se utilizar as metodologias descritas nos “Capítulo 5 — Uso e tratamento de dados de acidentes”, “Capítulo 12 — Abordagens proativas” e “Capítulo 14 — Avaliação econômica e monitoramento de projetos implantados”. Cada medida deve ser escolhida de acordo com as especificidades locais, uma vez que escolhas inadequadas podem ter efeitos adversos. Além das medidas aqui apresentadas, a sinalização horizontal e vertical eficiente é fundamental para reduzir a velocidade dos veículos.

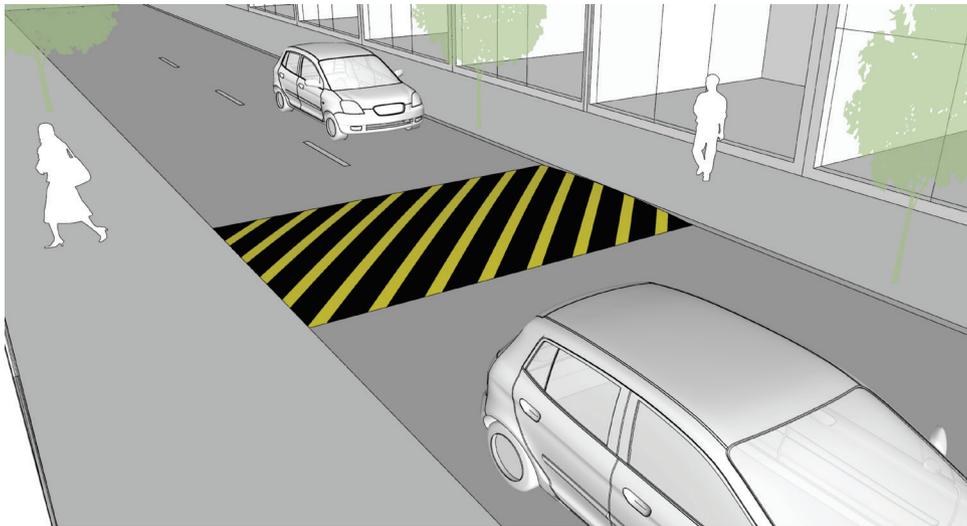
³ Recomendações mais detalhadas para a elaboração de projetos com velocidade segura são apresentadas no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias”.

10.5.1 *Lombada*

As lombadas são instaladas transversalmente sobre a via, em toda a largura da faixa de rolamento, a fim de reduzir a velocidade máxima de circulação dos veículos. A Resolução 600 do Conselho Nacional de Trânsito CONTRAN [13] estabelece os critérios de instalação para ondulação transversal TIPO A (onde for necessário reduzir para velocidades de 30km/h) e TIPO B (onde a velocidade de circulação é igual a 20 km/h). As lombadas do TIPO A são adequadas ao uso em trechos rodoviários, já as lombadas do TIPO B têm seu uso recomendado somente a vias urbanas.

As dimensões da lombada também variam conforme o tipo, sendo a do TIPO A com largura igual à largura da via (incluindo acostamento se for pavimentado), comprimento de 3,70 metros de extensão e altura podendo variar de 8,00 a 10,00 centímetros[14]. A Figura 10.5 apresenta um desenho esquemático com lombada padrão TIPO A.

Figura 10.5: Lombada TIPO A



Fonte: elaborado pelo autor com base em [15]

Como princípio, a lombada deve impor uma velocidade constante na via, não apenas uma desaceleração local e posterior aceleração. A relação entre a altura e o comprimento da lombada determina o efeito da desaceleração [16]. Essa medida tem efeito pontual e, para evitar que o veículo retome a velocidade inicial, podem ser instaladas lombadas em sequência, com espaçamento de 100 a 200 metros [13].

É importante que a implantação de lombadas seja acompanhada de sinalização adequada, para advertir o motorista sobre sua existência, especialmente antes da primeira lombada da série. Também é desejável que o trecho em que serão implantadas lombadas seja iluminado. Recomendações sobre a sinalização do dispositivo podem ser encontradas no Volume I do Manual de Sinalização Rodoviária do DER/SP (especialmente projetos Tipo 11 e 12) [17].

As lombadas são soluções reconhecidas como efetivas e de fácil execução, pois, além de melhorar a segurança, devido à redução das velocidades operacionais, apresentam baixo custo de implantação. No entanto, avaliações benefício-custo devem considerar os custos de manutenção, visto que o dispositivo requer intervenções constantes.

Em relação à aplicação, deve-se atentar à declividade longitudinal da via (inferior a 4% em rodovias e 6% em vias urbanas e em ramos de acesso a rodovias). Além disso, é preciso observar a exigência de distâncias de visibilidade compatíveis com a redução de velocidade que será imposta aos veículos. Por isso, recomenda-se evitar a implantação de lombadas em curvas [14].

10.5.2 *Lombada eletrônica*

Lombadas eletrônicas, também conhecidas como controladores eletrônicos de velocidade, são dispositivos medidores de velocidade, voltados à melhoria das condições de Segurança Viária. De acordo com a Resolução 798 do Conselho Nacional de Trânsito CONTRAN, são dispositivos do tipo redutor, destinados a fiscalizar a redução pontual da velocidade regulamentada da via, em trechos críticos ou com presença de usuários vulneráveis [18].

Atuam como uma alternativa aos radares, porém com o mesmo objetivo de reduzir o número de acidentes em determinada localidade, propondo ao condutor a diminuição da velocidade [19]. As lombadas eletrônicas funcionam a partir de sensores de superfície que determinam a velocidade dos veículos [20], e um medidor numérico digital, que exibe em tempo real a velocidade do veículo [19]. Esse tipo de dispositivo é indicado para vias de maior movimento, com velocidade regulamentada baixa, especialmente em áreas de conflito entre pedestres e veículos [21].

A lombada eletrônica tem caráter educativo. Contudo, caso o condutor exceda o limite de velocidade, sistema pode registrar a imagem do veículo e gerar o auto de infração. Dessa forma, o dispositivo também pode assumir um caráter de fiscalização.

A Figura 10.6 exemplifica um dispositivo de lombada eletrônica.

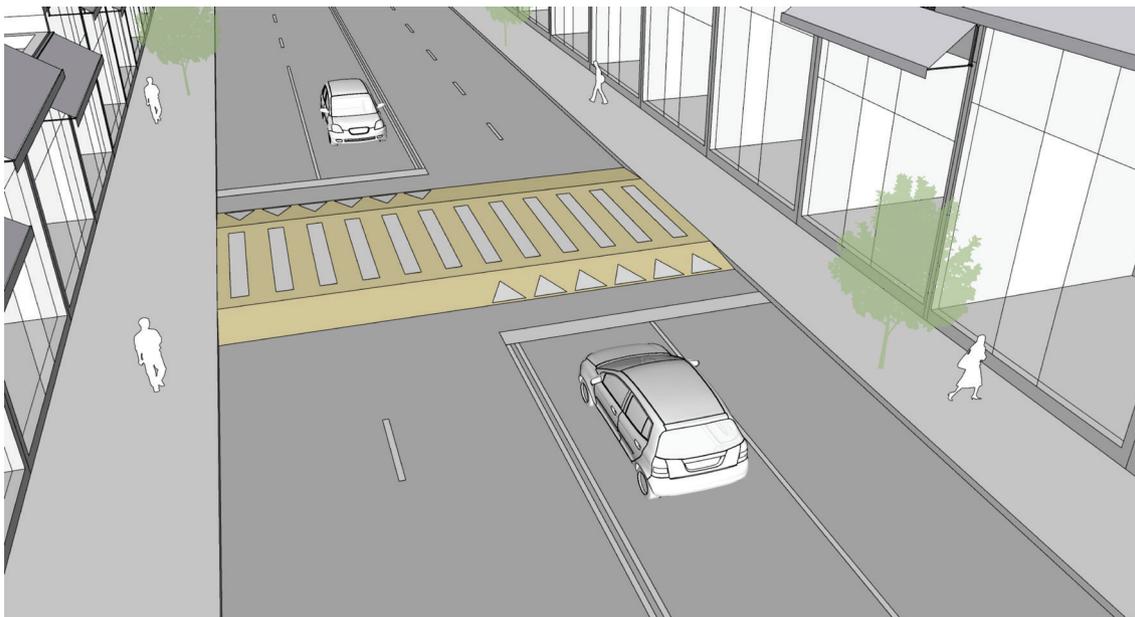
Figura 10.6: Lombada eletrônica



Fonte: [22]

10.5.3 *Lombofaixa*

As lombofaixas são lombadas alongadas que abrigam a sinalização de faixa de pedestres. Trata-se de uma seção da via elevada à altura do meio fio, ligando as duas calçadas e permitindo a travessia dos pedestres em nível. Para proporcionar conforto na travessia, as lombofaixas devem ter largura entre 5,00 e 7,00 metros e altura igual à da guia da calçada (desde que não ultrapasse 15,00 cm) [23]. A diferenciação do pavimento (cor e textura) na área de travessia é recomendada para melhorar a condição de visibilidade, indicando ao motorista que aquele local possui uma situação distinta do restante da via [14]. A Figura 10.7 apresenta um exemplo de lombofaixa.

Figura 10.7: Lombofaixa

Fonte: elaborado pelo autor com base em [15]

Essa medida moderadora de tráfego pode ser implantada nas aproximações de interseções com cruzamento de pedestres, pois reduz efetivamente a velocidade de aproximação, ou ao longo de segmentos onde haja concentração de cruzamentos de pedestres [15]. Assim como as lombadas, as lombofaixas demandam sinalização clara e mais intensa, respeitando as recomendações do Volume I do Manual de Sinalização Rodoviária do DER/SP (especialmente projeto Tipo 11) [17]. É recomendado o uso de iluminação específica para o cruzamento de pedestres e o controle da velocidade de aproximação, a qual deve ser reduzida, quando necessário, garantindo que o veículo que se aproxima esteja em condições de dar a preferência aos pedestres na lombofaixa.

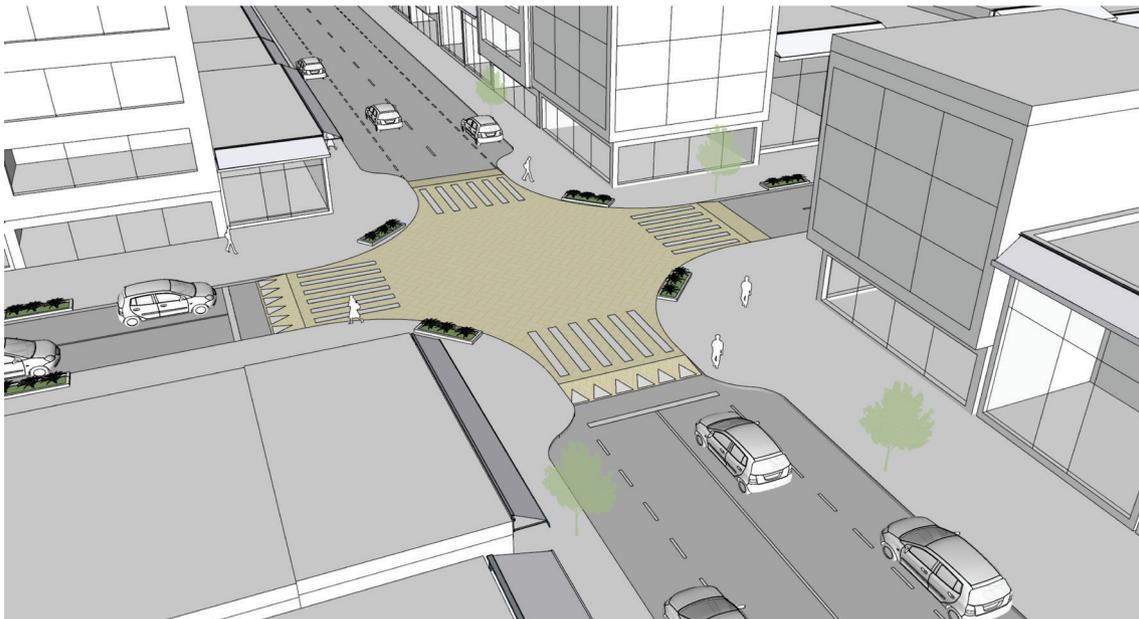
Em relação a uma travessia convencional, a lombofaixa apresenta vantagens por aumentar a intervisibilidade entre pedestres e motoristas, demarcar fisicamente a prioridade dos pedestres e auxiliar no deslocamento de pessoas com mobilidade reduzida [15].

10.5.4 *Interseção elevada ao nível dos passeios*

As interseções elevadas ao nível dos passeios têm a vantagem de reduzir as velocidades dos veículos nos locais mais perigosos para travessia de pedestres [3]. Trata-se da elevação da via à altura do meio fio em todas as aproximações da interseção, ligando todas as calçadas e permitindo a travessia dos pedestres em nível.

É recomendada a diferenciação do pavimento (cor e textura) na área da interseção, de modo a melhorar a condição de visibilidade, delinear a área de travessia de pedestres e chamar a atenção dos motoristas que se aproximam [3]. A Figura 10.8 apresenta um exemplo de interseção elevada ao nível do passeio.

Figura 10.8: Interseção elevada ao nível dos passeios



Fonte: elaborado pelo autor com base em [15]

Interseções elevadas criam uma área claramente destinada ao trânsito de pedestres, fazendo com que os motoristas que se aproximam reduzam a velocidade e deem preferência à passagem dos usuários vulneráveis [3]. Assim como as lombadas e as lombofaixas, esse tipo de interseção demanda sinalização clara e mais intensa, sendo recomendado o uso de iluminação específica para o cruzamento de pedestres e o controle da velocidade de aproximação.

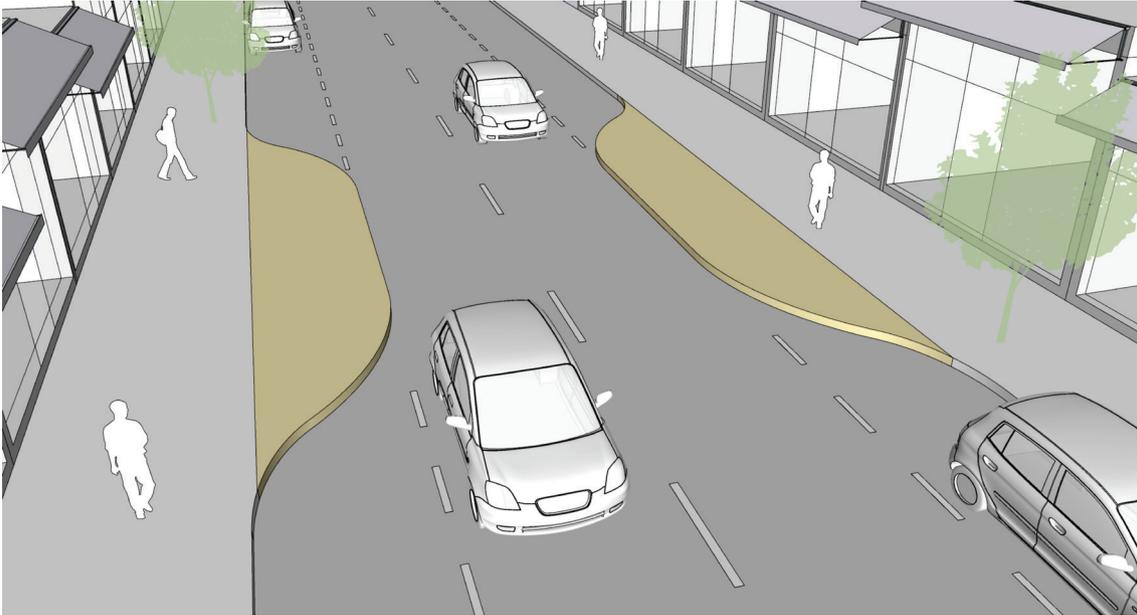
São tipicamente destinadas a áreas urbanizadas (travessias urbanas do tipo III) e não são apropriadas para vias com velocidades elevadas [3]. Além disso, não são recomendadas para vias com mais de um sentido de tráfego [15].

10.5.5 *Estreitamento da via*

O estreitamento da via pode ser implantado em um ponto da via ou ao longo de um trecho, sendo geralmente associado a um local de cruzamento de pedestres. Nesses casos, deve ser acompanhado de outras medidas moderadoras que induzam à redução de velocidade (como a lombofaixa). Para realizar o estreitamento da via, é possível prolongar as calçadas ou implementar faixas de pavimento diferenciado, vegetação, pintura horizontal e canteiros.

Essa medida moderadora deve ser física, com canteiros, e deve estar associada à sinalização específica. Como resultado, o estreitamento da via diminui a distância percorrida pelos pedestres no cruzamento por meio da redução do número e/ou da largura das faixas, minimizando a exposição do pedestre na travessia.

É preciso atentar-se à redução da capacidade no segmento de via provocada pelo estreitamento, o que pode afetar o nível de serviço da rodovia [3]. Portanto, os estreitamentos são adequados em locais com baixo fluxo de tráfego, onde se deseja reduzir a velocidade e ordenar o fluxo. Deve-se ter atenção ao projeto no segmento de aproximação do estreitamento da via, podendo ser incluídas faixas de estacionamento antes e depois do estreitamento. Além disso, os estreitamentos podem ser acompanhados de mudanças no revestimento, como cor e textura, as quais são utilizadas para alertar os motoristas sobre mudanças no ambiente da via e para advertir sobre entradas e saídas de veículos, produzindo contraste entre os espaços e diferentes usos [1]. A Figura 10.9 apresenta um exemplo de via com estreitamento lateral.

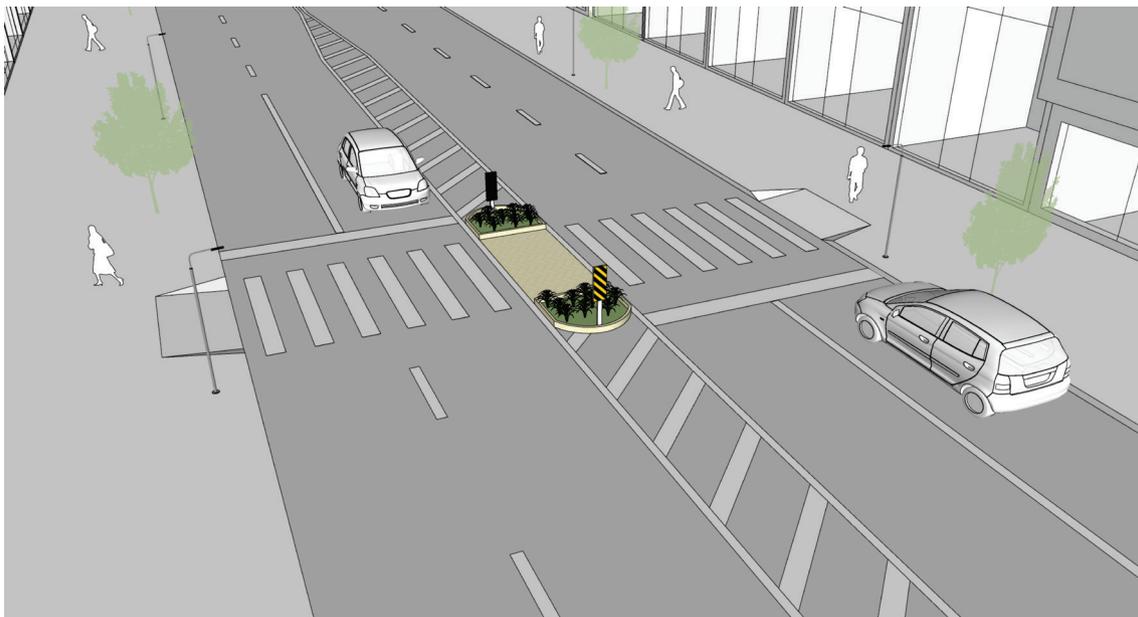
Figura 10.9: Estreitamento da via

Fonte: elaborado pelo autor com base em [15]

10.5.6 Ilhas centrais

Outra medida que reduz a largura da via e, conseqüentemente, a velocidade do tráfego, são as ilhas centrais. Essas ilhas têm a função de evitar conversões proibidas à esquerda, evitar ultrapassagens e criar uma área para refúgio central de pedestres — que permite o cruzamento da via em dois tempos, com único sentido por vez [15].

As ilhas centrais devem ser físicas e construídas de forma a representar uma barreira a movimentos proibidos. Ao implementar essa medida é preciso fornecer iluminação e sinalização adequada para evitar acidentes de veículos motorizados com o meio-fio. A Figura 10.10 apresenta um exemplo de ilha central.

Figura 10.10: Exemplo de ilha central

Fonte: elaborado pelo autor com base em [15]

As ilhas centrais devem ser utilizadas sempre que a velocidade e o volume de tráfego tornarem as travessias em um único estágio perigosas para os pedestres e, também, em vias com três ou mais faixas de tráfego por sentido [15].

10.5.7 *Bulbos*

Bulbos são extensões de calçadas, geralmente implantados nos pontos de cruzamento de pedestres, a fim de estreitar fisicamente a via e diminuir a distância de travessia dos pedestres. Dessa forma, o espaço disponível na calçada é aumentado e os pedestres que aguardam para atravessar a via se tornam mais visíveis para os motoristas. Esses, por sua vez, são induzidos a reduzir a velocidade devido ao estreitamento da via. A extensão nas calçadas pode ainda acomodar mobiliário urbano ou permitir área de estacionamento [15]. A Figura 10.11 apresenta um exemplo de uso de bulbos.

Figura 10.11: Exemplo de bulbos

Fonte: elaborado pelo autor com base em [15]

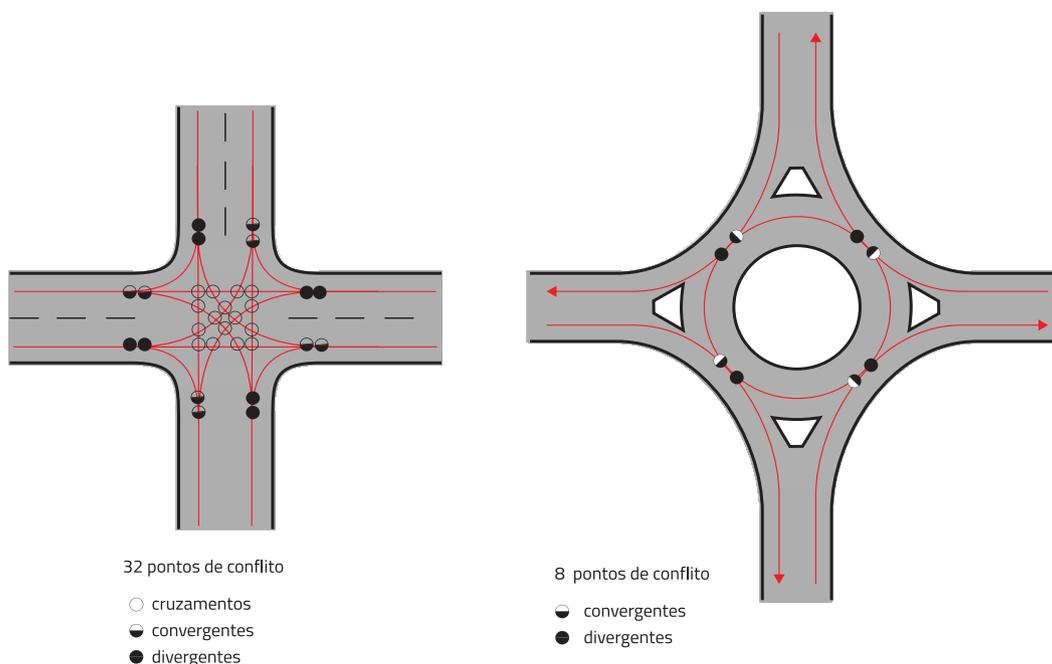
10.5.8 Rotatória

A rotatória é uma interseção não semaforizada, capaz de induzir a redução de velocidade nas aproximações e na própria interseção, bem como, diminuir o ângulo e o número de conflitos de tráfego. Sua principal função é desviar, canalizar e organizar os fluxos de tráfego nas conversões. Rotatórias possuem ilha central, a qual deve ser construída com canteiros e meio fio. Podem ser implantadas em interseções de três ou mais ramos e substituem a necessidade de semaforização, no caso de baixo a médio fluxo de tráfego [16].

A principal vantagem associada às rotatórias está relacionada à eliminação de conflitos de cruzamento e à redução da diferença de velocidade entre os movimentos. Por essas razões, este tipo de interseção é responsável pela redução do número de acidentes e da severidade, quando esses ocorrem. Para isso, o projeto geométrico da rotatória deve impor deflexões ao tráfego, não permitindo que existam movimentos que cruzem o dispositivo com velocidades incompatíveis.

Outro benefício da implantação das rotatórias é evitar conversões diretas à esquerda, reconhecidas como um dos fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes. Além disso, esse dispositivo possibilita movimentos de retorno mais seguros. A Figura 10.12 ilustra a redução dos pontos de conflito com a implantação da rotatória.

Figura 10.12: Redução de conflitos em rotatórias



Fonte: elaborado pelo autor com base em [7]

Deve-se evitar empregar raios de grandes dimensões nas ilhas centrais, já que esses permitem velocidades maiores, aumentando as diferenças de velocidade entre os movimentos na via circular e nas aproximações.

A demanda por maiores raios de giro, por parte dos veículos pesados, pode gerar situações em que as deflexões necessárias à redução de velocidade não sejam efetivas para os veículos leves. Nesses casos, tem sido efetiva a opção por rotatórias galgáveis, que contam com dois raios distintos na ilha central: o raio maior (faixa externa), destinado à circulação de veículos de menor porte; e o raio menor (faixa interna galgável), usado apenas para a circulação de veículos pesados. A faixa interna deve ser transponível a veículos pesados, com textura de maior rugosidade e cores diferenciadas. A Figura 10.13 apresenta um exemplo de rotatória galgável.

Figura 10.13: Exemplo de rotatória galgável com dois raios

Fonte: elaborado pelo autor

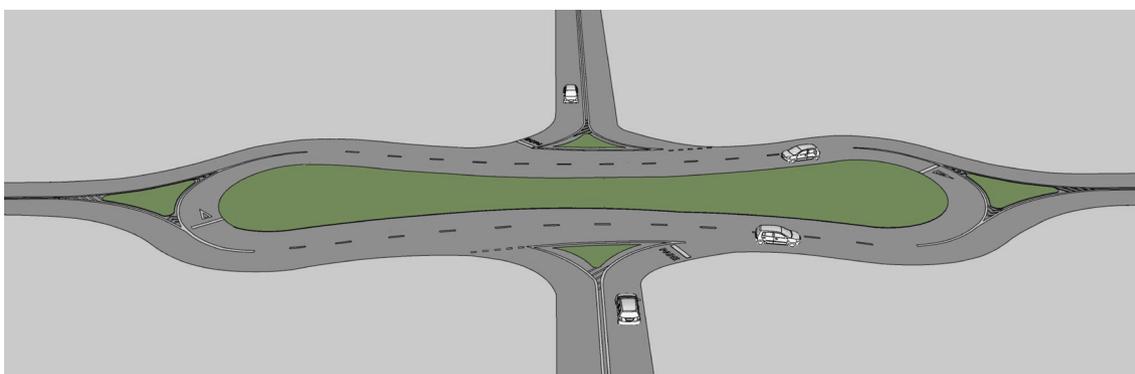
Outra recomendação importante é a construção de canteiros centrais que restrinjam a visibilidade do lado oposto à aproximação do motorista na interseção. Essa solução tem como propósito fazer o motorista que se encontra em uma das aproximações da rotatória concentrar-se somente no tráfego na via circular, e não no tráfego das demais aproximações.

O raio das aproximações e da via circular deve ser dimensionado de modo a acomodar veículos leves e pesados e devem ser previstas rotas seguras para o tráfego de pedestres e ciclistas [16]. Por isso, é importante que sejam previstos elementos físicos para canalização do movimento de pedestres, de forma a garantir o posicionamento mais seguro para a travessia desses usuários e a evitar que haja possibilidade de cruzamento utilizando a ilha central da rotatória. É necessário atenção ao recomendar o uso de rotatórias em casos de volumes de pedestres elevados, visto que essas interseções aumentam as distâncias a serem percorridas para realizar o cruzamento da via.

10.5.9 Rotatória alongada

Rotatória alongada é aquela na qual a distância entre os pontos de conflito é aumentada devido a um alongamento, que permite o entrelaçamento dos veículos. É uma medida de redução de velocidades, aplicada principalmente em travessias urbanas do tipo II. Permite o bloqueio central, eliminando as conversões diretas à esquerda e possibilitando o retorno dos veículos nos dois lados do cruzamento. A Figura 10.14 apresenta um exemplo de rotatória alongada.

Figura 10.14: Exemplo de rotatória alongada



Fonte: elaborado pelo autor

10.6 Sinalização e iluminação

A sinalização, particularmente nas travessias urbanas, deve informar as mudanças nas regras do contexto rural para urbano, principalmente em relação à redução da velocidade, à correta demarcação das travessias de pedestres, das ciclovias e ciclofaixas e às prioridades na via. Informações mais detalhadas sobre esse tema são apresentadas no Manual de Sinalização Rodoviária do DER/SP [17]. Ressalta-se que, na área urbanizada, os padrões de sinalização devem ser adequados ao ambiente urbano e às velocidades operacionais, sendo necessário rever as dimensões e locais de implantação.

É recomendada a iluminação das travessias urbanas, sobretudo travessias do tipo II e III. A iluminação deve estar de acordo com as condições locais específicas, tanto das faixas de tráfego como do entorno, de acordo com as especificações do DER/SP [24]. Um bom projeto de iluminação deve proporcionar segurança a todos os usuários da via, motorizados ou não. Por isso, em travessias urbanas, o projeto de iluminação não deve contemplar apenas os veículos, mas também os pedestres e ciclistas, o que significa adequar a iluminação aos passeios e travessias, de forma a melhorar as condições de visibilidade [1] e demarcar a transição do ambiente rural para o urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FREIRE, Liz Helena Costa Varella. **Análise de tratamentos adotados em travessias urbanas — Rodovias arteriais que atravessam pequenas e médias cidades no RS**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia com ênfase em Sistemas de Transportes) — Escola de Engenharia — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2003
- [2] DO CARMO, C.L; RAIA JR, A.A. Segurança Viária em trechos urbanos de rodovias federais no estado de São Paulo, Brasil. In: **VII Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Pluris: contrastes, contradições, complexidades: Desafios Urbanos no Século XXI**, Maceió, Brasil, 2016, p. 1-12
- [3] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Rio de Janeiro, Brasil, 2010
- [4] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Equipamentos redutores de velocidade e seu efeito sobre os acidentes nas rodovias federais**. Rio de Janeiro, Brasil, 2009
- [5] BRASIL, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP). **Projeto Padrão de Plataforma para Ponto de Ônibus Ônibus — Tipos 1, 2, 3 e 4. (PP-DE-F07/015)**. São Paulo, Brasil, 2023
- [6] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Acesso de Propriedades Marginais a Rodovias Federais**. Rio de Janeiro, Brasil, 2006
- [7] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Projeto de Interseções**. Rio de Janeiro, 2005
- [8] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation & Department of Land Conservation and Development. **Main Street... when a highway runs through it: A Handbook for Oregon Communities**. Oregon, Estados Unidos, 1999
- [9] CUPOLILLO, Maria Teresa Araujo. **Estudo das medidas moderadoras do tráfego para controle da velocidade e dos conflitos em travessias urbanas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) — COPPE — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006
- [10] AMIN, Jorge Carlos. **Eficácia da restrição de velocidade e outras ações na prevenção de acidentes em travessias urbanas de rodovias**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) — Escola de Engenharia de São Carlos — Universidade de São Paulo, 2012
- [11] BRASIL, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo**. Rio de Janeiro, Brasil, 1998

- [12] DO CARMO, C.L; RAIA JR, A.A. Acidentes de trânsito em trechos urbanos de rodovias: panorama na malha federal brasileira. In: **SINGEORB 20-7 — Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana**, São Carlos, SP, Brasil, 2018
- [13] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Resolução nº 600, de 24 de maio de 2016**. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao6002016_new.pdf. Acesso em: 05 jan. 2023
- [14] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume IV – Dispositivos Auxiliares**. Brasília, Brasil, 2021
- [15] Global Designing Cities Initiative; National Association of City Transportation Officials (NACTO). **Global Street Design Guide**. Island Press, 2016
- [16] WELLE, Ben et al. **Cities safe by design: Guidance and Examples to Promote Traffic Safety through Urban and Street Design**. World Resources Institute (WRI), 2015
- [17] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Manual de Sinalização Rodoviária: Volume I — Projeto**. São Paulo, Brasil, 2023
- [18] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Resolução nº 798, de 02 de setembro de 2020**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-798-de-2-de-setembro-de-2020-276446814>. Acesso em: 05 jan. 2023
- [19] Lombada Eletrônica Walthus. **CONTRANSIN**. Disponível em: <https://www.contransin.com.br/produtos/lombada-eletronica/lombada-eletronica-walthus/#:~:text=Como%20uma%20alternativa%20aos%20radares,exata%20do%20ve%C3%ADculo%20naquele%20momento>. Acesso em: 05 jan. 2023
- [20] Lombadas eletrônicas. **Portal Mundo Educação**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lombadas-eletronicas.htm>. Acesso em: 05 jan. 2023
- [21] Lombadas Eletrônicas: 27 Anos Ajudando A Salvar Vidas. **MirianGasparin.com.br** Disponível em: <https://miriangasparin.com.br/2019/08/lombadas-eletronicas-27-anos-ajudando-a-salvar-vidas/>. Acesso em: 05 jan. 2023
- [22] Lombada eletrônica entra em operação em Dois Córregos. **EIXO SP**. Disponível em: <https://eixosp.com.br/lombada-eletronica-entra-em-operacao-em-dois-corregos/>. Acesso em 11 jan. 2023
- [23] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Resolução nº 738, de 6 de setembro de 2018**. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao7382018.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2023
- [24] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Instrução de Projeto: Projeto de Iluminação de Rodovias (IP-DE-E00/001)**. São Paulo, Brasil, 2023



CONSIDERAÇÕES SOBRE USUÁRIOS VULNERÁVEIS

Geralmente, pouca atenção é dada aos pedestres e ciclistas em ambientes rodoviários. Esses usuários são, por vezes, negligenciados em ações voltadas à Segurança Viária [1]. Como o objetivo desse tipo de via é promover mobilidade e consequentemente o desenvolvimento de velocidades elevadas, projetos geométricos e de segurança são voltados majoritariamente para o tráfego de veículos motorizados.

Rodovias que atravessam áreas urbanas, além de sofrer influências do tráfego local, podem ter um grande volume de tráfego de usuários vulneráveis. Conforme abordado no “Capítulo 10 — Travessias urbanas”, neste Manual são estabelecidos três tipos de travessias urbanas, definidas a partir do nível de influência urbana que as rodovias sofrem, sendo:

- Travessias urbanas do tipo I: rodovias de classe 0 e IA que passam por perímetro urbano em situação segregada e sem perturbação do tráfego local. Esse tipo de travessia não será abordado neste capítulo, uma vez que o tráfego de usuários não motorizados deve ser proibido devido às altas velocidades praticadas.
- Travessias urbanas do tipo II: rodovias que atravessam áreas de influência urbana, com passagem perturbada. Esse tipo de via preserva características

operacionais de rodovias rurais, mesmo compreendendo um tráfego misto de longa distância (tráfego rodoviário) e de deslocamentos intraurbanos (tráfego local), podendo apresentar demanda de usuários vulneráveis.

- Travessias urbanas do tipo III: rodovias que atravessam áreas urbanizadas adquirindo características físicas e operacionais urbanas e com grande presença de pedestres e ciclistas.

Compreender a interação entre veículos motorizados e usuários vulneráveis em travessias urbanas dos tipos II e III é um esforço importante para desenvolver projetos seguros, uma vez que há uma diferença considerável de velocidade e de comportamento entre usuários de veículos motorizados e não motorizados.

Pedestres, ciclistas e, também, motociclistas estão envolvidos em cerca de duas a cada três fatalidades decorrentes de acidentes de trânsito [2], [3]. Esses usuários sofrem as consequências mais graves quando envolvidos em acidentes com veículos motorizados, pois não são protegidos pela estrutura do veículo. A denominação “usuários vulneráveis” é feita, precisamente, por existir o componente da vulnerabilidade humana na determinação das consequências dos acidentes nos quais se envolvem. Dessa forma, garantir a segurança desses usuários é fundamental para prevenir lesões no trânsito.

Considerando que nenhuma morte ou lesão grave no trânsito é aceitável — pois os acidentes são previsíveis e evitáveis¹ — e que pedestres e ciclistas são usuários vulneráveis que frequentemente circulam em áreas urbanizadas e de influência urbana, os projetos de rodovias devem acomodar todos os usuários atuais e os previstos [5], sendo que usuários vulneráveis devem ser tratados com especial atenção em estudos, projetos e políticas de Segurança Viária [1].

Este capítulo tem por objetivo apresentar a importância de considerar usuários vulneráveis no projeto seguro de rodovias e em tratamentos de locais de risco. São apresentadas questões de Segurança Viária para pedestres e ciclistas, assim como para motociclistas, que podem ser considerados usuários vulneráveis em relação a outros veículos motorizados (automóveis, caminhões e ônibus).

¹ Essa definição refere-se à abordagem do Sistema Seguro que é aprofundada no “Capítulo 6— Diretrizes para o projeto seguro de rodovias”.

Assim, são recomendados tratamentos de segurança destinados a pedestres e ciclistas, apresentados no item “11.2 — Tratamento dos usuários vulneráveis”, e tratamentos de segurança destinados a motociclistas, apresentados no item “11.1.3 — Segurança dos motociclistas”. Além disso, o capítulo aborda como considerar os usuários vulneráveis no projeto seguro de rodovias.

11.1 Identificação de usuários vulneráveis

Usuários vulneráveis são aqueles que apresentam maior risco de lesões e mortes, caso se envolvam em acidentes com veículos motorizados. Nesse sentido, o Quadro 11.1 apresenta a definição dos usuários que integram esse grupo.

Quadro 11.1: Usuários vulneráveis não motorizados

Tipo de usuário	Características
Pedestres	<p>Podem estar caminhando, correndo, sentados próximos à faixa de tráfego e/ou portarem equipamentos de auxílio ao caminhar, como cadeiras de rodas, andadores e bengalas.</p> <p>Representam um grupo bastante heterogêneo, dentro do qual existem usuários mais vulneráveis em relação à população em geral, como idosos, crianças, PcDs etc., que merecem atenção especial.</p> <p>Pedestres caminham ao longo de passeios ou acostamentos e, também, cruzam as vias.</p>
Ciclistas	<p>São usuários que trafegam em bicicletas, bicicletas elétricas² e outras variações.</p> <p>Ciclistas podem desenvolver velocidades maiores que os pedestres, aumentando seu risco associado, e devem ter atenção com os pedestres em locais de uso compartilhado.</p> <p>Trafegam ao longo de ciclovias, ciclofaixas, acostamento ou mesmo na faixa de rolamento das rodovias em trechos urbanizados e cruzam as vias.</p>

Fonte: elaborado pelo autor com base em [6], [7], [8]

² Desde que tenham potência máxima de 350 watts com assistência nos pedais (Pedelec) e que não contenham acelerador ou variador manual de potência [4].

Além dos pedestres e ciclistas, os motociclistas também se enquadram na definição de usuários vulneráveis, por representarem um elevado número das vítimas fatais no trânsito e por não estarem protegidos pela estrutura veicular. São, entretanto, usuários de veículos motorizados (motocicletas, motonetas, *scooters* e outros ciclomotores³) que podem trafegar na velocidade regulamentada da via. Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), os ciclomotores podem circular nas faixas de tráfego, desde que não haja acostamento ou faixa própria destinados a eles e são proibidos de circular sobre calçadas, ciclovias, ciclofaixas e vias de trânsito rápido [8].

O comportamento imprudente dos motociclistas no Brasil é ainda um agravante para sua vulnerabilidade. Esses usuários, por vezes, não respeitam as regras de trânsito e os limites de velocidade, além de trafegarem entre as faixas de rolamento, colocando-se em situações de risco. Contudo, apesar de serem considerados usuários vulneráveis — por não estarem protegidos pela estrutura veicular —, sua vulnerabilidade não se equipara a de pedestres e ciclistas.

Em todo o caso, a definição de usuários vulneráveis não deve se limitar às características dos usuários, devendo também, considerar fatores de risco sistêmicos. Assim, a vulnerabilidade dos usuários em determinado local deve ser avaliada levando em consideração os seguintes aspectos [10]:

- exposição: proximidade e interação variadas entre os usuários vulneráveis e os veículos motorizados resultam em diferentes níveis de exposição dos usuários vulneráveis;
- fragilidade: o corpo humano tem tolerância limitada à força violenta e usuários vulneráveis não são protegidos pela estrutura do veículo (ou seja, pedestres e ciclistas não possuem estruturas de proteção veicular em caso de acidentes). Assim, acidentes envolvendo esses usuários costumam resultar em lesões graves ou fatais;
- energia: há uma grande diferença de energia e de fragilidade entre os usuários vulneráveis e os usuários de veículos motorizados. Essa diferença, que considera a massa e a velocidade dos usuários, resulta em maior risco de

³ Bicicletas elétricas que não se enquadram na resolução do CONTRAN nº 465, de 27 de novembro de 2013, portanto, exigindo a Autorização para Condução de Ciclomotores (ACC) ou Carteira Nacional de Habilitação (CNH) categoria A [9].

severidade dos acidentes envolvendo pedestres e ciclistas no ambiente rodoviário;

- comportamentos dos usuários da via:
 - » motoristas: podem apresentar comportamentos imprudentes que contribuem para a ocorrência e para a severidade dos acidentes, como excesso de velocidade, direção sob o efeito de álcool, distração, tomada deliberada de riscos, disputa por prioridade de passagem etc.;
 - » usuários vulneráveis: podem apresentar comportamento variado e com grande imprevisibilidade, devido aos vários grupos heterogêneos;
- problemas de intervisibilidade: em rodovias de maior velocidade, muitas vezes, não existe visibilidade adequada para os motoristas enxergarem os pedestres e ciclistas. O mesmo ocorre com usuários vulneráveis, que podem ter sua visão obstruída, sendo impedidos de enxergar a aproximação dos veículos e podendo entrar na via em situação de risco;
- infraestrutura: especialmente quando não há estruturas dedicadas a pedestres (como calçadas, passeios, locais de travessia) e a ciclistas (como ciclovias e ciclofaixas), a exposição dos usuários pode ser maior; projeto do veículo: veículos podem ou não apresentar tecnologias de segurança embarcada (sensores de presença, sistemas de assistência ao motorista, freio automático etc.) que ajudam a visualizar e proteger usuários vulneráveis;
- cursos de treinamento: pedestres e ciclistas não frequentam aulas de condução e de formação sobre as leis de trânsito, direção defensiva e fatores de risco no trânsito;
- campanhas de segurança: campanhas de segurança no trânsito, em sua maioria, não contemplam ações voltadas a usuários vulneráveis, sendo que grandes publicidades e informações a respeito de trafegar com segurança focam em ações voltadas aos motoristas de veículos motorizados.

Portanto, o sistema viário deve oferecer estruturas com condições adequadas de segurança para a circulação de usuários vulneráveis [11]. A presença dessas estruturas

é de suma importância para garantir a mobilidade desses usuários nas rodovias. A seguir, são apresentados os aspectos que devem ser considerados na elaboração de projetos seguros voltados para cada grupo de usuários vulneráveis.

11.1.1 *Segurança de pedestres*

Pedestres priorizam trajetórias em nível, com o menor deslocamento possível. Da mesma forma, evitam passarelas e passagens subterrâneas, devido ao aumento da distância percorrida, do tempo de percurso e da energia necessária para vencer o desvio da travessia. Nesse sentido, as medidas e dispositivos de segurança para a coexistência de pedestres e veículos motorizados devem ser pensadas de forma a incluir os pedestres no sistema viário, sem prejudicar a circulação desses usuários vulneráveis.

Existem duas maneiras principais de reduzir a severidade dos acidentes com pedestres: a primeira é separar os pedestres do tráfego motorizado, reduzindo os conflitos e os riscos a que eles estão sujeitos; e a segunda é reduzir a velocidade dos veículos a valores baixos o suficiente para que, caso ocorra um acidente envolvendo pedestres, as consequências não sejam fatais ou graves [6]. Medidas moderadoras de tráfego, conforme descrito no “Capítulo 10 — Travessias Urbanas”, podem ser implementadas para reduzir as velocidades praticadas pelos veículos motorizados em locais com tráfego de pedestres. Entretanto, como a capacidade da via é prejudicada pela redução da velocidade de tráfego, velocidades mais baixas, que permitam o tráfego seguro de pedestres, nem sempre podem ser alcançadas, especialmente em travessias urbanas do tipo II.

Por outro lado, é possível separar os fluxos de veículos motorizados e usuários vulneráveis nas rodovias. Em travessias urbanas do tipo I, por exemplo, deve ser prevista a separação total dos fluxos de usuários vulneráveis e veículos motorizados [12]. Em travessias urbanas dos tipos II e III, os fluxos de diferentes usuários podem ser separados no espaço ou no tempo, como é explicado no item “11.2 — Tratamento dos usuários vulneráveis”.

Além disso, existem outras medidas que podem auxiliar na melhoria de segurança dos pedestres, como [13]:

- iluminar locais potencialmente perigosos e eliminar fontes de luzes intensas que possam ofuscar a visão dos condutores;
- sinalizar, com materiais retrorrefletivos e de fácil leitura, os pontos de cruzamento de pedestres, bem como, a interface entre pedestres e demais usuários.

É importante considerar a segurança de pedestres no entorno de rotas e pontos de parada de transporte coletivo, fornecendo infraestrutura adequada para a circulação segura desses usuários. Essas estruturas têm como objetivo diminuir a exposição dos passageiros e garantir acesso seguro aos pontos de embarque e desembarque. Assim, estruturas como travessia sinalizada e com visibilidade adequada para pedestres, acompanhadas (sempre que possível) por canteiros centrais e ilhas de refúgio, são medidas primordiais de Segurança Viária para usuários vulneráveis e devem ser projetadas em toda a rota do transporte público.

Um projeto seguro também deve contemplar grupos de pedestres mais vulneráveis em relação à população geral, visando tratar esses grupos com equidade e fornecendo condições de segurança adequadas às expectativas dos usuários e às necessidades de mobilidade [14]. Nesse contexto, é necessário identificar os riscos aos quais os usuários vulneráveis estão expostos, considerando as diferenças existentes dentro desse grupo, como:

a) Idade

A idade está relacionada a uma variedade de características e habilidades que podem contribuir para a exposição ao risco e para a severidade dos acidentes, além de influenciar o risco de lesões no trânsito. As características e comportamentos relacionados à idade referem-se à maneira como crianças, adultos e idosos interagem com as medidas de segurança para pedestres e, portanto, requerem atenção especial no planejamento de intervenções [6].

Vários fatores atuam juntos para aumentar o risco de pedestres idosos envolverem-se em acidentes [6]. Em geral, esse grupo apresenta redução nas funções cognitivas e fisiológicas, que pode comprometer sua capacidade de

audição, visão, atenção e processamento de informações, além de prejudicar o tempo de reação e a velocidade dos movimentos. Os idosos costumam circular com velocidade reduzida, o que provoca aumento na exposição ao risco em situações de travessia. Assim, esses usuários necessitam de intervalos maiores entre veículos para a realização do cruzamento. Tendo em conta que a população idosa está em crescimento, o comportamento desse tipo de usuário deve ser previsto em projetos seguros [1].

Por outro lado, usuários mais jovens são menos experientes e podem ser mais imprudentes. Crianças não têm capacidade cognitiva e de discernimento dos movimentos dos veículos e dos riscos existentes na via. Possuem, também, um ritmo de caminhada menor [15].

Há, ainda, outras particularidades em relação a pedestres mais jovens. Devido à altura reduzida, crianças são menos visíveis pelos motoristas e a dinâmica do acidente se altera, frequentemente resultando em acidentes mais severos, uma vez que, ao invés de serem lançadas para cima do capô dos automóveis, as crianças são derrubadas no chão, podendo bater a cabeça.

Outra questão a ser considerada é o esforço dos adultos, que é redobrado quando eles precisam carregar bebês de colo [15].

b) Gênero

As questões de segurança no trânsito se aplicam de maneira diferente a homens e mulheres por uma variedade de razões físicas e sociais. Existem diferenças nos padrões das lesões para homens e mulheres: mulheres apresentam maior risco de lesões graves e maior risco de lesão cervical. Diferenças intrínsecas de gênero com relação à estrutura óssea são possíveis razões para essa distinção [16].

Além disso, questões sociais impactam os riscos aos quais as mulheres estão expostas. Geralmente, quando mulheres morrem em decorrência de acidentes de trânsito, elas ocupam as posições de passageiro ou de pedestre e não de motoristas [16].

c) Pessoa com deficiência (PcD)

PcDs podem apresentar limitações físicas, intelectuais, visuais ou auditivas que dificultam a sua mobilidade. Esses pedestres podem ter uma velocidade

de caminhada mais lenta e necessitar de mais pontos de descanso em intervalos menores. Soluções seguras devem considerar (i) as calçadas e o pavimento da via no mesmo nível nos locais de travessia de pedestres, (ii) a instalação de recursos sensoriais especiais nas travessias e (iii) adaptações no transporte público para incluir esses usuários no sistema de transporte [11].

Geralmente, questões voltadas a grupos específicos de pedestres passam a surgir no desenvolvimento de melhorias de rodovias implantadas, quando é possível identificar demandas individuais dos usuários vulneráveis.

Em suma, as intervenções para promover a segurança no tráfego de pedestres em travessias urbanas buscam eliminar ou, pelo menos, reduzir a exposição de pedestres ao tráfego de veículos [6], [12].

11.1.2 *Segurança de ciclistas*

Nos últimos anos, foi observado aumento no número de ciclistas, viajando tanto a trabalho, como para lazer e esporte. Houve aumento de viagens a longa distância com bicicleta nas áreas rurais e de viagens de curta e média distância em travessias urbanas [5], tanto em rodovias que atravessam áreas urbanizadas (tipo III) como em rodovias que atravessam áreas de influência urbana com passagem perturbada (tipo II).

Grande parte das rodovias existentes não têm estrutura dedicada ao tráfego de ciclistas. Assim, quando houver demanda, especialmente em travessias urbanas, devem ser previstas soluções de Segurança Viária para esses usuários.

A ordem de tratamento recomendada para garantir a segurança dos ciclistas é descrita no item "11.2 — Tratamento dos usuários vulneráveis". A partir do nível de separação do fluxo de veículos motorizados, o Volume VIII do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, classifica os diferentes tipos de vias dedicadas aos ciclistas [17]:

a) Ciclovias

Ciclovias são vias próprias destinadas à circulação de ciclos.⁴ São segregadas fisicamente das faixas de tráfego de veículos motorizados e podem ser construídas em nível ou em desnível em relação à pista. A separação entre os grupos de usuários deve ser realizada mediante afastamentos adequados, barreiras de proteção ou canteiros. São alternativas mais adequadas ao tráfego em rodovias, pois reduzem o risco associado à exposição dos ciclistas.

b) Ciclofaixas

Parte da pista de rolamento, calçada ou canteiro central, delimitada por Sinalização Viária, que é destinada exclusivamente à circulação de ciclos. Pode ter piso diferenciado e deve ser implantada no mesmo nível da pista, da calçada ou do canteiro. Esse tipo de via dedicada não deve ser implantada em rodovias de alta velocidade, uma vez que não garante a segurança dos ciclistas por meio de afastamento ou proteção adequados, podendo ser utilizada apenas em travessias urbanas do tipo III.

c) Vias compartilhadas

Vias sinalizadas que não são projetadas especificamente para o tráfego de ciclistas, mas podem abrigar esses usuários, permitindo o uso compartilhado do espaço por bicicletas e veículos motorizados. Em rodovias, podem ser utilizadas, com cautela, apenas em travessias do tipo III (rodovias que atravessam áreas urbanizadas e adquirem características urbanas), desde que as velocidades praticadas pelos veículos motorizados sejam baixas. Também podem existir espaços destinados aos pedestres onde ciclistas compartilham a mesma área de circulação, desde que devidamente sinalizado.

Um ponto importante na segurança das vias dedicadas aos ciclistas é a sua continuidade. Segmentos alternados de ciclovias e ciclofaixas ao longo de uma rota são indesejáveis, assim como cruzamentos da pista, que são os pontos mais críticos de projetos de ciclovias e ciclofaixas. Devido aos potenciais conflitos nesses locais, um

⁴ De acordo com Anexo I do CTB, ciclos são definidos como veículos de pelo menos duas rodas movido a propulsão humana [17].

projeto seguro deve contemplar elementos de segurança para a circulação de ciclistas e veículos motorizados em cruzamentos, devendo ser considerada a necessidade de implantação de ilhas de proteção (refúgios), de modo a prever o cruzamento da rodovia em duas etapas [13].

Além disso, os ciclistas devem ser incentivados a usar roupas e equipamentos refletivos, buzinas, espelhos retrovisores e luzes noturnas para facilitar sua identificação, especialmente em condições climáticas adversas, como chuva, noite, neblina etc.

11.1.3 *Segurança de motociclistas*

As medidas que podem ser adotadas para garantir a segurança dos motociclistas diferem, substancialmente, dos tratamentos direcionados aos pedestres e ciclistas, uma vez que motocicletas circulam na faixa de tráfego, compartilhando a via com outros veículos motorizados, e são capazes de trafegar nas velocidades regulamentadas nas rodovias. Contudo, esses usuários não são protegidos pela estrutura do veículo, o que os tornam vulneráveis em relação aos demais veículos motorizados.

Motociclistas podem apresentar um comportamento inseguro no trânsito, assumindo velocidades elevadas e trafegando entre as faixas da via. Um estudo realizado na Universidade de Berkeley, nos Estados Unidos, apontou que o risco de lesões graves em acidentes envolvendo motociclistas que trafegam entre as faixas está relacionado tanto à velocidade, como ao diferencial de velocidade entre as motocicletas e os demais veículos⁵ [18]. Assim, deve-se investir em campanhas educativas e informativas e, também, em mais fiscalização e controle do comportamento dos motociclistas, de modo a reforçar a importância desses usuários assumirem um comportamento seguro no trânsito, especialmente em relação à adoção de velocidades compatíveis com sua segurança.

Os motociclistas devem ser incentivados a adotar práticas de direção defensiva, como trafegar a uma distância segura dos demais veículos e realizar a manutenção preventiva da motocicleta. O uso de roupas de proteção com adesivos retrorrefletivos

⁵ No “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias” é explicado como o diferencial de velocidade entre veículos pode contribuir para a ocorrência de acidentes.

e equipamentos de segurança também deve ser incentivado, ressaltando a obrigatoriedade do uso de capacete. Roupas que refletem a luz dos faróis dos carros permitem que os motoristas avistem os motociclistas a uma distância maior, especialmente em condições climáticas adversas.

Deve-se ter atenção especial à segurança dos motociclistas em equipamentos de contenção nas laterais das vias⁶. Esses elementos de Segurança Viária podem representar um risco para motociclistas que circulam na rodovia por dois motivos: (i) o motociclista pode ser projetado por sobre a barreira de contenção; (ii) o motociclista pode atingir os suportes de defensas metálicas e de barreiras de cabos. Assim, onde for julgado necessário, mediante estudos técnicos específicos, podem ser implantados dispositivos de proteção aos motociclistas em defensas metálicas e em defensas de cabos ou barreiras de concreto com adequação da altura.

11.2 Tratamento dos usuários vulneráveis

Em travessias urbanas, pedestres e ciclistas convivem com o fluxo de veículos pesados, automóveis e motocicletas. Assim, é necessário haver um equilíbrio entre as necessidades e os desejos de cada tipo de usuário, devendo ser adotadas medidas e tratamentos adequados, de acordo com a interface entre os usuários e a rodovia e as interações entre usuários, além de levar em consideração todo o sistema viário.

Em rodovias que atravessam áreas de influência urbana com passagem perturbada (tipo II), sempre que forem identificados volumes de pedestres e/ou ciclistas precisam ser avaliadas soluções de segurança específicas para esses usuários e, quando necessário, implementadas.

Rodovias que atravessam áreas urbanizadas (tipo III) devem prezar por infraestruturas e dispositivos seguros para as demandas do tráfego local (acesso dos usuários da rodovia às áreas urbanizadas e vice-versa). Ressalta-se que, devido à presença de

⁶ Esse tema é abordado com mais detalhes no item “8.3 — Dispositivos de contenção” do “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”.

atividades econômicas ao longo da rodovia, travessias do tipo III costumam apresentar maiores demandas de pedestres e ciclistas.

Medidas de segurança específicas podem ser necessárias nas aproximações de trechos urbanizados que apresentam demanda de usuários vulneráveis. Nesses casos, pode ser necessário implantar calçadas e ciclovias, a fim de evitar que pedestres e ciclistas percorram o acostamento, além de prever medidas moderadoras de tráfego.

Existem dois tipos de demanda de usuários vulneráveis:

- demanda de caminhada longitudinal: pedestres e ciclistas trafegam nos acostamentos ou laterais da rodovia, para acesso a pontos de interesse ou transporte público;
- demanda de cruzamento: pedestres e ciclistas buscam atravessar a rodovia para alcançar o outro lado. Ocorre muitas vezes em áreas urbanizadas com atividades econômicas desenvolvidas longitudinalmente à via.

Os tratamentos de segurança recomendados para usuários vulneráveis variam com o tipo de demanda. Dessa forma, o primeiro passo é identificar a presença de pedestres e ciclistas e determinar o tipo de demanda desses usuários. Uma vez identificadas as demandas, deve-se proceder com o tratamento de riscos dos usuários vulneráveis.

Na sequência são recomendados os tratamentos de risco dos usuários vulneráveis para as demandas de caminhada longitudinal e de cruzamento, destacando-se medidas de segurança adequadas a pedestres e ciclistas.

11.2.1 *Demanda de caminhada longitudinal*

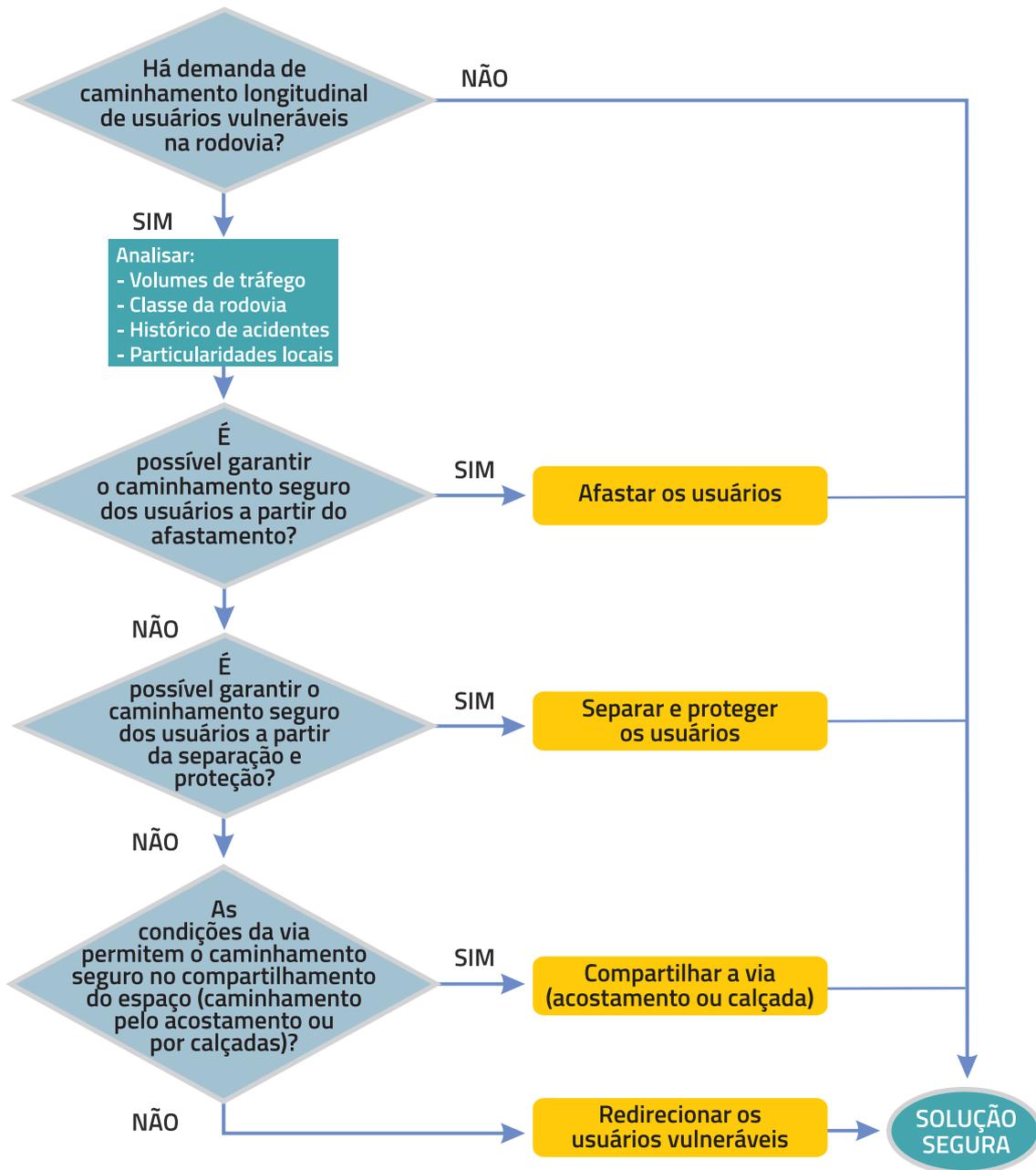
Quando a demanda dos usuários vulneráveis é de caminhada longitudinal, para garantir a segurança desses usuários, recomenda-se a ordem de tratamento representada esquematicamente na Figura 11.1 e descrita na sequência.

- afastamento dos usuários: recomenda-se, prioritariamente, a adoção de medidas de afastamento de pedestres e ciclistas dos veículos motorizados,

como a implantação de áreas de circulação para usuários vulneráveis (passseios ou ciclovias) afastadas da faixa de tráfego. O afastamento deve ser o máximo possível e tanto maior quanto maior a velocidade da rodovia;

- separação física e proteção dos usuários vulneráveis: caso não seja possível fornecer afastamento suficiente para garantir a segurança dos usuários vulneráveis, recomenda-se a implantação de áreas de circulação separadas e dedicadas, como calçadas e ciclovias, protegidas do fluxo de veículos motorizados por barreiras de contenção;
- compartilhamento da rodovia: nos casos de travessia de trechos urbanizados (tipo III), pode ocorrer o compartilhamento da via entre veículos motorizados e usuários vulneráveis nas laterais da pista, com pedestres e ciclistas utilizando os acostamentos ou as calçadas para circulação. Nesse tipo de travessia, os ciclistas podem, inclusive, circular na faixa de tráfego quando não houver outra opção. Contudo, o compartilhamento da via deve ser visto com cautela e como última medida para atender os usuários vulneráveis em trechos urbanizados, sendo essencial a adoção de medidas moderadoras de tráfego (apresentadas no “Capítulo 10 — Travessias urbanas”) para a redução da velocidade dos veículos. Uma solução mais segura para os ciclistas, nesse tipo de travessia urbana, pode ser a implantação de ciclofaixas, que permitem a separação do fluxo de ciclistas e veículos motorizados. Para os pedestres, pode-se prever o compartilhamento de ciclovias ou ciclofaixas com os ciclistas, ao invés de compartilhar a via com veículos motorizados. Além disso, em situações excepcionais, como eventos desportivos, o tráfego de ciclistas nos acostamentos pode ser permitido, com a devida sinalização e canalização provisórias.
- redirecionamento do tráfego de usuários vulneráveis: se a rodovia não puder atender esses usuários com segurança, a rede viária do entorno pode ser avaliada a fim de redirecionar a demanda de pedestres e ciclistas para outras vias paralelas ou marginais, as quais possuam infraestrutura ou possam receber infraestruturas adequadas para atender as demandas desses usuários com segurança.

Figura 11.1: Ordem de tratamento recomendada para demanda de caminhada longitudinal de usuários vulneráveis



Fonte: elaborado pelo autor

Ressalta-se, contudo, que as medidas de segurança descritas devem ser adotadas apenas em travessias urbanas dos tipos II e III. Em travessias urbanas do tipo I (rodovias de classe 0 e IA), o caminhamento de usuários vulneráveis ao longo da rodovia deve ser

desencorajado e, se necessário, proibido. Excepcionalmente, nas rodovias de classe IA em segmentos viários de influência urbana, o caminhamento de pedestres pode ser permitido quando houver vias marginais, preferencialmente com a utilização de calçadas segregadas.

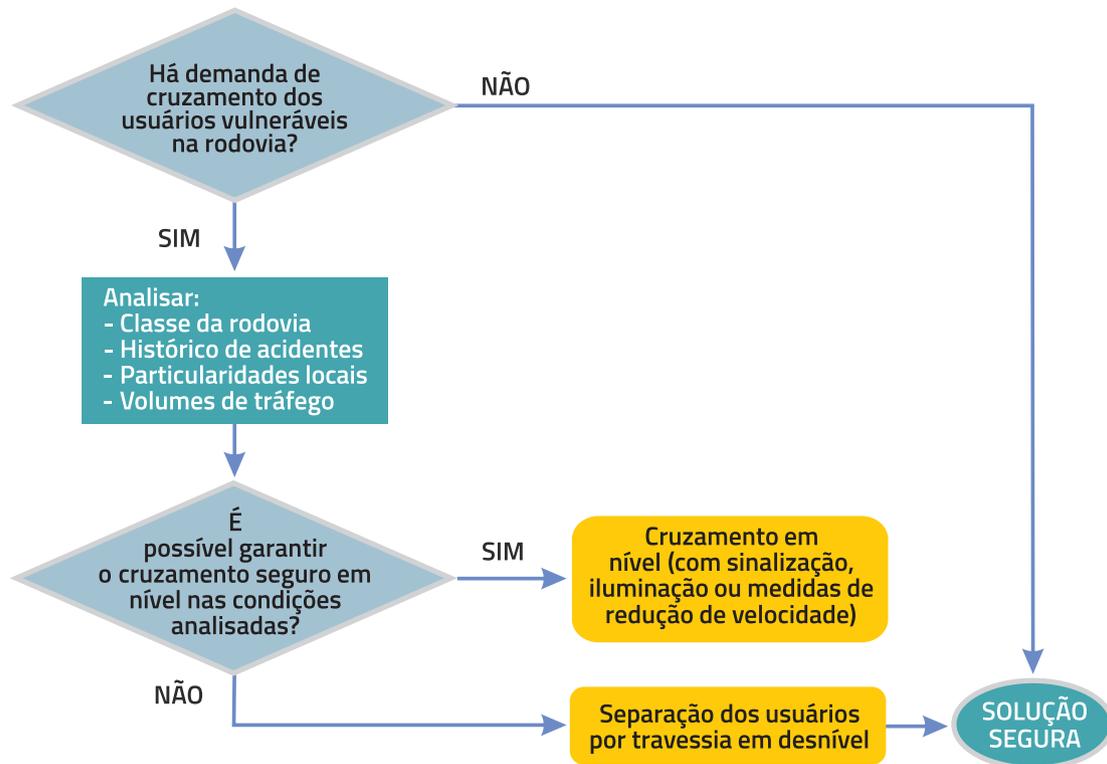
11.2.2 *Demanda de cruzamento*

Quando a demanda dos usuários vulneráveis é de cruzamento, recomenda-se a ordem de tratamento apresentada na Figura 11.2 e detalhada a seguir:

- cruzamento em nível: primeiramente, deve-se verificar a possibilidade de atender à demanda de cruzamento com segurança com a adoção de cruzamentos em nível acompanhados de sinalização de alerta e iluminação e, se necessário, medidas moderadoras de tráfego (apresentadas no “Capítulo 10 — Travessias Urbanas”). Nesse caso, os movimentos dos usuários vulneráveis são separados dos movimentos de veículos motorizados por meio de cruzamento sinalizado, lombofaixas ou cruzamentos semaforizados com fase específica para usuários vulneráveis (separação no tempo). Deve-se certificar que os usuários vulneráveis tenham intervalos seguros para realizar o movimento de cruzamento, bem como, que os veículos consigam avistar pedestres e ciclistas e desviar ou parar com segurança, em caso de necessidade.
- cruzamento em desnível: se não for possível proporcionar cruzamento em nível seguro, como ocorre em vias de classes mais elevadas (classes O e IA) e em travessias urbanas do tipo II, seja pelas altas velocidades praticadas ou por falta de intervalos suficientes, deve-se prever a separação física dos usuários por meio de travessias em desnível, como passarelas (com rampas adequadas ao tráfego de ciclistas e de todos os grupos de pedestres), passagens inferiores, rebaixamento ou elevação de pista. Destaca-se a necessidade de prever medidas para minimizar cruzamentos inseguros, uma vez que pedestres e ciclistas tendem a optar por percorrer o caminho mais fácil. Assim, atravessam a rodovia pela própria faixa de tráfego ao invés de fazer uso dos dispositivos de segurança existentes, especialmente quando são fornecidas passarelas e passagens inferiores, que podem demandar desvios na trajetória, aumento no tempo de percurso e necessidade de vencer

um desnível para cruzar a rodovia. Nesses casos, a canalização por meio de cercas e telamentos pode ser uma solução, auxiliando no afunilamento dos fluxos de pedestres e ciclistas para a travessia dedicada e impedindo esses usuários de invadir a faixa de tráfego da rodovia.

Figura 11.2: Ordem de tratamento recomendada para demanda de cruzamento dos usuários vulneráveis



Fonte: elaborado pelo autor

Em cruzamentos, o risco de ocorrer um acidente é diretamente proporcional ao volume de pedestres e ciclistas que desejam realizar a travessia, ao volume de veículos na pista a ser atravessada e à exposição dos usuários vulneráveis na travessia — que varia com a largura da pista (número de faixas), condições de velocidade e sentidos de operação do tráfego [19]. Dessa forma, a necessidade de implantação de travessia em desnível pode ser determinada a partir dessas condições (volume de tráfego, volume de pedestres/ciclistas e exposição).

BOX 1

SELEÇÃO DO TRATAMENTO DE SEGURANÇA ADEQUADO PARA UMA TRAVESSIA DE PEDESTRES



A escolha do tipo de travessia de pedestre a ser implantada em um local pode variar de acordo com diversos fatores, como volume de veículos na pista e volume de pedestres, além de fatores como uso do solo, velocidade de tráfego, histórico de acidentes etc. A escolha da solução segura para o cruzamento de pedestres em um determinado local deve ser feita a partir de estudos específicos, analisando as particularidades locais. Existem diferentes metodologias que podem ser utilizadas para essa finalidade, entre elas:

- Orientações do DER/SP atualizadas pela ARTESP: utiliza ábacos que relacionam volumes de pedestres (número de pedestres/hora) e de veículos (veículo equivalente/hora), para diferentes configurações de vias (rodovias de pista simples, rodovias de pista simples com faixa adicional, rodovias de pista dupla, rodovias de pista dupla com três faixas por sentido etc.), determinando o tipo de tratamento adequado a cada situação [19];
- Nota Técnica da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP): determina um intervalo mínimo necessário para uma travessia segura. Leva em consideração fatores como largura da via, distância do ponto de permanência segura do pedestre até a borda do passeio, velocidade do pedestre, velocidade média da via, entre outros [20];
- *Australasian Pedestrian Facility Selection Tool*⁷ : corresponde a uma ferramenta desenvolvida pela *Austroads* e fornecida gratuitamente, com o objetivo de auxiliar na seleção do tratamento de segurança apropriado a determinado local. A ferramenta é baseada em pesquisas bibliográfica, analítica e comportamental, aliada a uma série de modelos matemáticos [21];
- *Pedestrian Crossing Installation Guide*⁸ (Colorado *Department of Transportation* — CDOT): apresenta diretrizes para orientar a seleção de tratamentos apropriados para as travessias de pedestres [22].

⁷ Disponível em: <https://austroads.com.au/network-operations/network-management/pedestrian-facility-selection-tool>. Acesso em: 17 out. 2022.

⁸ O Apêndice C do documento apresenta gráficos, fluxogramas e tabelas com valores de referência para fatores — como volume e velocidade de tráfego e configuração da via — considerados na seleção do tratamento apropriado.

11.3 Recomendações especiais para usuários vulneráveis

A atenção aos usuários vulneráveis não deve se limitar às seções típicas de travessias urbanas dos tipos II e III. Em situações específicas, como na acomodação de pedestres e ciclistas em viadutos ou em paradas de ônibus nas rodovias, atenção especial deve ser dada a esses usuários. Além disso, existem medidas de segurança que podem ser implementadas em locais com demanda de usuários vulneráveis, como a utilização de iluminação. Nos tópicos a seguir essas situações são discutidas com mais detalhes.

11.3.1 *A iluminação como importante elemento de segurança*

Em rodovias, quando as condições de iluminação são baixas, o Índice de Acidentes geralmente é maior. Além disso, os acidentes que ocorrem nessas condições também costumam ser mais graves.

Quando utilizada de forma adequada, em locais apropriados, a iluminação é capaz de melhorar a visibilidade de pedestres e ciclistas, atuando como uma boa contramedida para reduzir a ocorrência e a severidade de acidentes em períodos noturnos. Nos locais em que há demanda significativa de usuários vulneráveis, projetos de iluminação que têm por objetivo auxiliar na identificação desses usuários podem ser recomendados em travessias urbanas dos tipos II e III. Nessas condições, quando houver iluminação de um segmento da rodovia com presença de pedestres e ciclistas no acostamento, a iluminação deve ser voltada para as áreas de circulação dos usuários vulneráveis, de modo que eles sejam visíveis e possam ser identificados com facilidade pelos condutores.

Em locais de conflito entre pedestres e veículos motorizados, especialmente em interseções e nos dispositivos de acesso, a iluminação deve considerar questões como visibilidade e ofuscamento nas travessias dos usuários vulneráveis, além de deixar claros os caminhos permitidos [23].

11.3.2 *Acomodação de ciclistas e pedestres em pontes e viadutos*

Em obras de arte especiais, devem ser previstas medidas específicas para a segurança de pedestres e ciclistas, especialmente porque nesses locais pode ocorrer estreitamento da plataforma viária. Essas situações apresentam perigo aos usuários que trafegam na lateral da via, pois não oferecem afastamento suficiente da faixa de tráfego.

Quando pontes e viadutos fazem parte de uma rota de pedestres e/ou ciclistas, é preciso prever algum tipo de passeio para esses usuários. Esses passeios devem estar segregados e protegidos por barreiras de contenção de altura adequada e guarda-corpos, como ilustrado na Figura 11.3.

Figura 11.3: Exemplo de passeio segregado para acomodar pedestres e ciclistas em viadutos e pontes



Fonte: acervo DER/SP

11.3.3 *Recomendações para paradas de ônibus*

A segurança de pedestres é uma questão fundamental a ser considerada no projeto de rotas de transporte coletivo. Os passageiros que utilizam sistemas de transporte coletivo geralmente estão expostos a altos riscos de envolvimento em acidentes com

veículos motorizados, principalmente associados aos entornos dos pontos de embarque e desembarque e passeios que dão acesso a esses pontos.

Em rodovias com rotas de transporte público, recomenda-se a implantação de baias de ônibus, como uma medida de segurança e de operação do tráfego. A utilização de baias de ônibus promove a desaceleração e a parada do veículo fora da faixa de tráfego da rodovia, evitando a ocorrência de acidentes, como colisões traseiras, ao reduzir a interferência dos ônibus com outros veículos, além de oferecer condições seguras de acesso e de embarque e desembarque ao afastar os pedestres do tráfego de veículos motorizados.

O projeto de baias deve englobar plataformas para espera dos passageiros, sinalização vertical e marcas no pavimento (sinalização horizontal). Também podem ser necessários elementos complementares para a acessibilidade, como rampas, escadas e gradis para que os pedestres possam acessar a baia com segurança, especialmente na presença de vias marginais [13].

Além disso, deve ser previsto um comprimento das faixas de aceleração e desaceleração compatível ao greide e à velocidade da rodovia, e que não cause desconforto aos passageiros nos movimentos dos veículos. O comprimento da baia, por sua vez, deve ser consistente com a quantidade de ônibus prevista para ocupar a baia no mesmo momento [13]. O Volume I do Manual de Sinalização Rodoviária do DER/SP oferece mais detalhes sobre o projeto de baias de ônibus nos seus Projetos-Tipo [24], assim como o Projeto Padrão de Plataforma para Ponto de Ônibus do mesmo Órgão [25].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TORFS, Katrien; MEESMANN, Uta. How do vulnerable road users look at road safety? International comparison based on ESRA data from 25 countries. **Transportation Research Part F: Traffic, Psychology and Behaviour**, v. 63, p. 144 —152, 2019
- [2] BRASIL, Ministério da Saúde, DATASUS, Tecnologia da Informação a Serviço do SUS, Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM). **Óbitos por Causas Externas**. Brasil, 2020. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/ext10uf.def>. Acesso em: 13 nov. 2020
- [3] SÃO PAULO, Governo do Estado de São Paulo, INFOSIGA SP. **Painel de Resultados: Relatórios**. Disponível em: <http://painelderresultados.infosiga.sp.gov.br/>. Acesso em: 17 nov. 2020
- [4] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Resolução nº 465**, de 27 de novembro de 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao4652013.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2023
- [5] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. 7ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2018
- [6] Organização Mundial da Saúde (OMS). **Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners**. Geneva, Suíça, 2013
- [7] BRASIL. **Lei Nº 9.503**, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503compilado.htm. Acesso em: 05 jan. 2023
- [8] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Resolução nº 842**, de 8 de abril de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao8422021.pdf>. Acesso em 03 mar. 2023
- [9] BRASIL. **Lei Nº 13.154**, de 30 de julho de 2015. Altera a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 - Código de Trânsito Brasileiro, a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e a Lei nº 13.001, de 20 de junho de 2014; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13154.htm. Acesso em: 03 mar. 2023
- [10] YANNIS, George et al. Vulnerable road users: Cross-cultural perspectives on performance and attitudes. **IATSS Research**, v. 44, n. 3, p. 220 — 229, 2020

- [11] Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). **Safety of vulnerable road users**. Programme of Co-operation in the Field of Research on Road Transport and Intermodal Linkages. Paris, França, 1998
- [12] MORAIS, José Rodolfo de. **Dispositivos para travessia urbana de pedestres em rodovias federais: um estudo de caso na BR-210/AP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Operações Rodoviárias) — Centro Tecnológico — Universidade Federal de Santa Catarina, Brasília/DR, 2017
- [13] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2010
- [14] SHI, Ge et al. For Safety Sake: Stop Calling Pedestrians and Bikers Vulnerable Road Users. **Journal of Transport & Health**, v. 22, 101221, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101220>
- [15] BRASIL, Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP). **Primeiros passos: mobilidade urbana na primeira infância**. ITDP BRASIL, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/primeiros-passos-mobilidade-urbana/>. Acesso em: 20 mar. 2023
- [16] Organização Mundial da Saúde (OMS); Comissões Regionais das Nações Unidas. **Global Plan: Decade of Action for Road Safety 2021–2030**. Geneva, Suíça, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>. Acesso em: 23 set. 2022
- [17] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume VIII — Sinalização Ciclovária**. Brasília, Brasil, 2022
- [18] RICE, Thomas; TROSZAK, Lara; ERHARDT, Taryn. **Motorcycle Lane-splitting and Safety in California**. Safe Transportation Research & Education Center — University of California Berkeley. Berkeley, Califórnia, mai. 2015
- [19] BRASIL, Agência de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP). **Instrução de Serviço para Estudos Técnicos para o Tratamento de Travessias para Pedestres em Rodovias (IP-00.000.000-0-A22/001)**. Diretoria de Investimentos — DIN, São Paulo, 2007
- [20] BRASIL, Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP). **NT 112/86 — Algumas Considerações Sobre Travessias e Brechas no Fluxo Veicular**. São Paulo, 1986.
- [21] AUSTRÁLIA, Austroads. **Australasian Pedestrian Crossing Facility Selection Tool**. Sydney, Australia, 2021. Disponível em: <https://austroads.com.au/network-operations/network-management/pedestrian-facility-selection-tool>. Acesso em: 17 out. 2022
- [22] ESTADOS UNIDOS, Colorado Department of Transportation (CDOT). **Pedestrian Crossing Installation Guide**. Denver, Colorado, 2021
- [23] FREIRE, Liz Helena Costa Varella. **Análise de tratamentos adotados em travessias urbanas – Rodovias arteriais que atravessam pequenas e médias cidades no RS**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia com ênfase em Sistemas de Transportes) — Escola de Engenharia — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2003

- [24] SÃO PAULO, Secretaria dos Transportes, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Manual de Sinalização Rodoviária: Volume I — Projeto**. São Paulo, Brasil, 2023
- [25] BRASIL, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP). **Projeto Padrão de Plataforma para Ponto de Ônibus — Tipos 1, 2, 3 e 4. (PP-DE-F07/015)**. São Paulo, Brasil, 2023



ABORDAGENS PROATIVAS

Tradicionalmente a Segurança Viária é descrita, analisada e monitorada a partir de dados de registros de acidentes, sendo que a maioria dos métodos de melhoria da Segurança Viária fazem parte de uma abordagem reativa¹. A necessidade de agir, preventivamente, em favor da segurança, junto à eventual escassez e limitações inerentes aos dados de registros de acidentes, indica que a análise de acidentes como única ferramenta para Gerenciamento da Segurança Viária não é suficiente. Nesse contexto, surgiram técnicas de análise da Segurança Viária que podem ser conduzidas mesmo sem registros de acidentes, como a Auditoria de Segurança Viária (ASV), a abordagem do Programa Internacional de Avaliação de Rodovias (iRAP)² e a Técnica de análise de Conflitos de Tráfego (TCT), que caracterizam-se como abordagens proativas dentro do Gerenciamento da Segurança Viária.

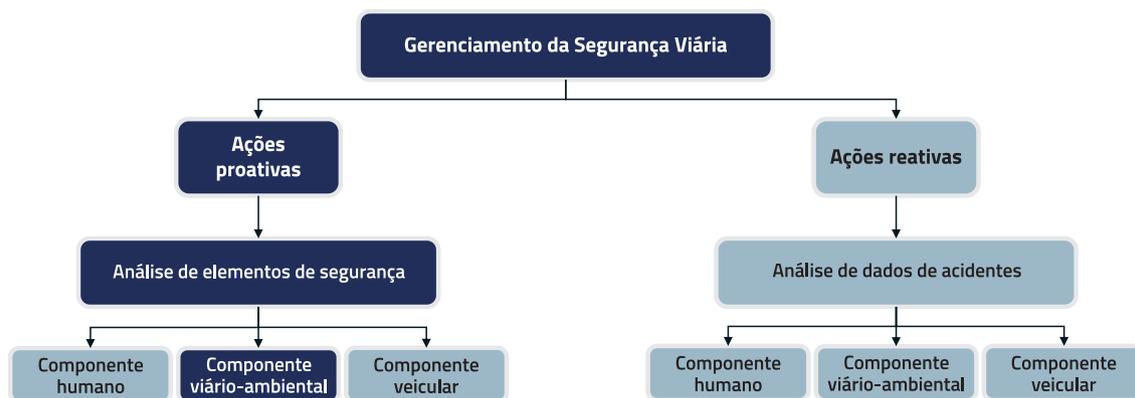
Os dados de registros de acidentes podem apresentar limitações (conforme exposto no “Capítulo 5 — Uso e tratamento de dados de acidentes”), por essa razão, abordagens proativas e reativas alimentam o processo de Gerenciamento da Segurança Viária e podem ser conduzidas de forma independente e complementar. A Figura

¹ Abordagens proativas e reativas são explicadas no “Capítulo 2 — Caráter multidisciplinar da Segurança Viária”.

² Em inglês, *International Road Assessment Programme*.

12.1 apresenta as ações proativas e as ações reativas que constituem o Gerenciamento da Segurança Viária.

Figura 12.1: Gerenciamento da Segurança Viária



Fonte: elaborado pelo autor com base em [1]

Enquanto nas ações proativas adota-se a análise de elementos de Segurança Viária, as ações reativas são fundamentadas na análise de dados de acidentes. O uso complementar das abordagens reativas e proativas favorecem o Gerenciamento da Segurança Viária. ASVs, por exemplo, podem se beneficiar das evidências empíricas, produzidas por análises de acidentes, para seu desenvolvimento ou atualização. Por esse motivo, locais já identificados como segmentos ou pontos críticos também podem ser avaliados por meio de abordagens proativas, auxiliando na compreensão dos fatores contribuintes para os acidentes.

Neste capítulo são apresentadas abordagens proativas, destacando-se as ações aplicáveis ao componente viário-ambiental, conforme destacado pela Figura 12.1. Contudo, ressalta-se que as interfaces desse componente com os demais (componentes humano e veicular dos acidentes) são indissociáveis³.

³ As relações entre estes três componentes (pessoa–via–veículo) são abordadas no “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”.

12.1 Auditoria de Segurança Viária

A Auditoria de Segurança Viária (ASV) tem como objetivo identificar e eliminar os elementos de risco presentes no sistema viário que contribuem para a ocorrência ou para a severidade dos acidentes, antes que eles ocorram.

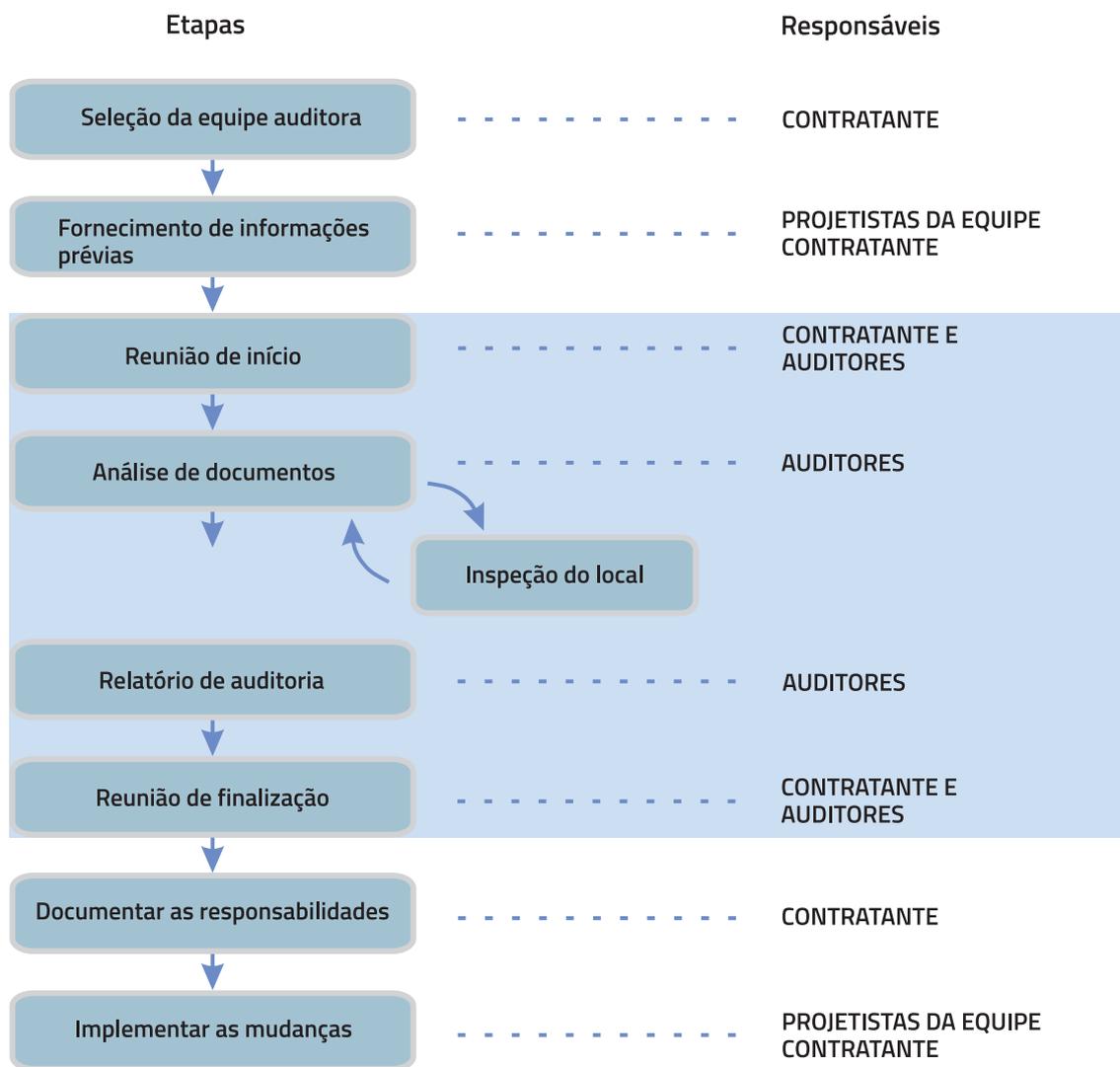
Originada na década de 80, a ASV tem produzido resultados animadores no que diz respeito a salvar vidas no trânsito. Dessa forma, a ASV se mostra como uma abordagem proativa importante para avaliar o desempenho de Segurança Viária [2].

A ASV é um procedimento formal e independente, o qual tem como resultado um relatório que descreve as preocupações com a segurança das vias avaliadas, podendo ou não indicar recomendações para eliminar ou reduzir as deficiências identificadas [2], [3]. De forma a definir esse método, entende-se que as ASVs [3]:

- são realizadas por equipes auditoras independentes e qualificadas;
- são realizadas aplicando os princípios consolidados de Segurança Viária, ao mesmo tempo que buscam garantir que as vias operem com a maior segurança possível, diminuindo o potencial de acidentes fatais e com lesão;
- consideram a segurança de todos os usuários da via; e
- podem ser conduzidas em vias de qualquer dimensão, em todas as fases de projeto ou em sistemas rodoviários existentes.

Auditorias de Segurança Viária são conduzidas em etapas que envolvem responsabilidade de diferentes setores, conforme ilustra a Figura 12.2. O processo de Auditoria é aplicável a todos os projetos, embora deva ser adaptado à sua natureza e ao seu porte. O planejamento, o desenho e o desenvolvimento do projeto permanecem sob responsabilidade do cliente e da equipe de implementação.

Figura 12.2: Etapas de aplicação da ASV e responsáveis por cada etapa



Fonte: elaborado pelo autor com base em [3]

A execução de uma ASV inicia-se pela etapa de seleção da equipe auditora, a qual é especializada em Segurança Viária e deve ser independente da equipe de projeto, de forma a manter a imparcialidade da Auditoria. A ASV é contratada pela instituição responsável pela via. Assim, é função do contratante garantir o fornecimento de informações prévias suficientes para que o projeto seja auditado.

Após a reunião de início, a equipe auditora realiza a análise dos documentos e a inspeção no local (para projetos implantados), produzindo o relatório de Auditoria, no

qual os auditores documentam suas análises e eventuais recomendações. Após a reunião de finalização entre o contratante e a equipe auditora, são documentadas as responsabilidades, o que significa que é realizada a decisão formal sobre seguir ou não cada recomendação da equipe auditora. Por fim, na fase de implementar as mudanças, são realizadas as alterações de projeto, por parte da equipe contratante, uma vez que não é atribuição do auditor assumir ou redesenhar o projeto [3]. Ressalta-se que, em etapa posterior à implantação de melhorias, é fundamental divulgar os resultados obtidos com a ASV.

Por ser um procedimento sistemático, que traz o conhecimento e o olhar da Segurança Viária para as diferentes etapas de planejamento e operação, a ASV pode atuar identificando os problemas congênitos de projeto e de construção, assim como as falhas de manutenção e de operação da via [4]. Portanto, a ASV pode ser conduzida com particularidades nas diferentes fases de projeto [5]:

(1) Estudo de Viabilidade/Anteprojeto

É o estágio que a ASV pode verificar e influenciar questões como traçado, padrões de projeto, tipo, configuração e número de interseções, continuidade com as rodovias adjacentes já existentes e projetos importantes do entorno (tais como escolas, indústrias e centros comerciais). A escolha de um conceito ou desenho inadequado, nessa fase, pode ser de difícil alteração posteriormente e ter um impacto adverso na segurança geral do projeto.

(2) Projeto Básico

A ASV conduzida nessa fase inclui, normalmente, a avaliação dos alinhamentos vertical e horizontal, seção transversal, configuração das interseções, distâncias de visibilidade, superlargura e usuários vulneráveis. A abordagem busca inspecionar a presença de elementos inesperados ou inconsistentes que, ao quebrar a expectativa do condutor, podem induzir a erros.

(3) Projeto Executivo ou Final

Nessa fase, a ASV verifica os detalhes do projeto geométrico final, tais como: traçado definitivo, detalhamento das interseções, características geométricas, sinalização vertical, horizontal e semafórica, zona livre da rodovia, obstáculos fixos nas laterais da via, dispositivos de contenção, segurança da drenagem superficial, iluminação, cercas, provisão para usuários

vulneráveis de todas as idades etc. As alterações realizadas nessa fase são a última chance de alteração do projeto antes da execução da obra.

(4) Pré-abertura ao tráfego

É a etapa em que a ASV é realizada pela visita da equipe auditora à via que será aberta ao tráfego, durante os períodos diurno e noturno — incluindo a inspeção do uso da via a ser feito pelo ponto de vista de diferentes usuários e veículos. Assim, busca-se a Auditoria detalhada das condições da via a ser liberada para o tráfego, incluindo suas aproximações e conexões, eventuais desvios do projeto aprovado, sinalização horizontal e vertical, implantação dos dispositivos de contenção e segurança da drenagem implantada.

(5) Vias existentes

Após a abertura da via, as Auditorias (ou Inspeções de Segurança Viária) podem ser realizadas para verificar como a rodovia está realmente operando, para identificar se há alguma deficiência no conceito do projeto ou na sua execução. Assim, a via é completamente auditada. As ASVs podem ser conduzidas em vias existentes com o objetivo de identificar elementos de risco, atuando como ferramenta de revisão ou monitoramento da Segurança Viária. As Auditorias devem ser conduzidas em diferentes condições, incluindo chuva e condição noturna.

A ASV pode ser incluída em cada fase de projeto e englobar novos aspectos à medida que o projeto vai sendo detalhado, até a sua implantação e operação. Recomenda-se que Auditorias sejam realizadas nas primeiras etapas do projeto, uma vez que a análise preliminar auxilia nas melhorias de Segurança Viária para o projeto final e, dessa forma, elimina o retrabalho nas fases de projeto e construção [2].

Entre os tipos específicos de Auditoria, pode-se destacar a Auditoria de Segurança de Obras [3]. Os locais em obra requerem implantação de desvios e configurações funcionais temporárias, que podem provocar mudança de velocidade e aumento de conflitos entre os usuários da via, além de gerar riscos aos trabalhadores da obra. É possível, ainda, que essas configurações sofram alterações durante os estágios de avanço da obra, expondo os usuários a configurações viárias distintas daquela projetada e auditada durante as etapas de projeto anteriores.

As verificações feitas pelos auditores em uma ASV não são baseadas na verificação de elementos individuais de projeto, podendo ir além dos padrões ou normas vigentes e visando a Segurança Viária como um todo. Essas verificações consideram o conjunto de soluções adotadas e o respectivo impacto na segurança global, além de orientar para a escolha da solução mais segura quando houver soluções alternativas [4].

As ASVs podem ser realizadas em projetos de diversos portes e investimentos e com diferentes ocupações de uso do solo [3]. A condução da ASV é, atualmente, fundamentada no conhecimento e experiência dos auditores, os quais utilizam listas de verificação (*checklists*, em inglês) como uma ferramenta para lembrar dos itens a serem analisados. À medida que a fase de projeto avança, mais itens podem ser verificados.

O Quadro 12.1 relaciona os itens que podem ser verificados em cada uma das fases de projeto [3]. Adicionalmente, são apresentados os itens inclusos na Auditoria de Segurança de Obras. Para cada uma das fases, os itens podem conter diferentes aspectos avaliados, detalhados na *checklist* específica de cada fase. A *checklist* com mais itens é adotada na Auditoria de rodovias existentes, dado o maior grau de conhecimento a respeito do projeto e suas condições operacionais.

As Auditorias podem ser realizadas em todas as fases de projeto, mas não são dependentes. Caso não seja realizada uma ASV em uma determinada etapa do projeto, esta pode ser realizada nas etapas subsequentes. Em cada etapa, é necessário que os projetistas utilizem a abordagem do Sistema Seguro⁴ e que os auditores considerem os riscos que podem levar a lesões fatais ou graves. A ASV é uma boa prática de Segurança Viária para reduzir os conflitos de trânsito e a severidade de acidentes e, portanto, deve ser estimulada.

⁴ Refere-se a uma abordagem que considera a responsabilidade das vias de forma compartilhada. Portanto, os projetos viários devem ser capazes de perdoar os erros humanos. Esse conceito é introduzido no “Capítulo 1 — Panorama da Segurança Viária” e detalhado no “Capítulo 6 — Diretrizes para projeto seguro de rodovias”.

Quadro 12.1: Itens que devem ser avaliados na Auditoria de Segurança Viária em cada fase de projeto ou de implantação

Itens a serem avaliados	Fase de projeto ou de implantação					
	Estudo de Viabilidade	Projeto Básico	Projeto Executivo	Pré-abertura ao tráfego	Vias existentes	Fase de obras
Tópicos gerais	X	X	X	X	X	X
Questões de projeto	X	X	X			
Detalhamento de alinhamento e do perfil transversal		X	X			
Interseções	X	X	X	X	X	X
Usuários vulneráveis		X	X	X	X	X
Veículos especiais (peso e dimensões)		X	X	X	X	X
Sinalização (vertical, horizontal e semaforica)		X	X	X	X	X
Iluminação		X	X	X	X	X
Operação de tráfego			X	X	X	X
Zonas livres e obstáculos fixos		X	X	X	X	X
Faixa adicional		X	X		X	
Pontes e galerias		X	X	X	X	
Pavimento			X	X	X	X

Fonte: elaborado pelo autor com base em [3]

As *checklists* de cada fase têm subitens adaptados às suas fases. O Anexo B deste Manual apresenta um exemplo de *checklist* para a etapa de projeto executivo de rodovias, devendo ser adaptado conforme cada situação.

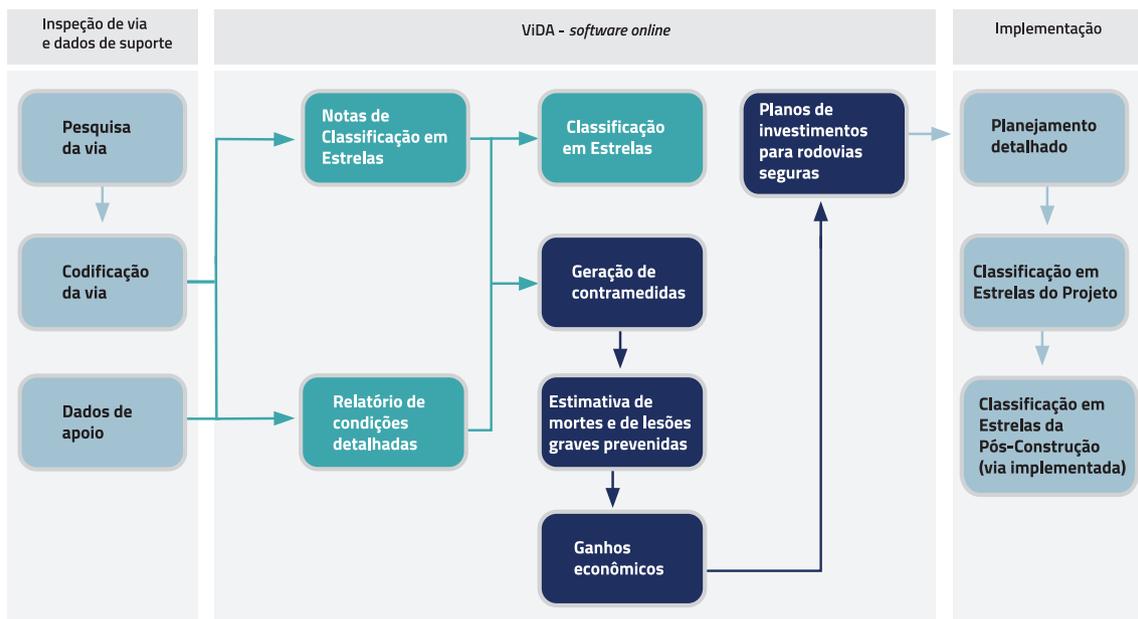
12.2 Método iRAP — Programa Internacional de Avaliação de Rodovias

O Programa Internacional de Avaliação de Rodovias (iRAP) é dedicado a salvar vidas por meio de Inspeções de Segurança Viária, conduzidas para levantar condições consideradas inseguras, caracterizando a segurança da rodovia, e indicar possíveis soluções mitigatórias para tornar as rodovias mais seguras. Essa abordagem tem como premissa o fato de que um Sistema Seguro é composto por usuários, vias e veículos seguros [6], [7].

O iRAP atua em mais de 70 países, em parceria com organizações governamentais e não-governamentais e por meio dos Programas de Avaliação de Rodovias (RAPs). No Brasil, esse método vem sendo aplicado no âmbito federal, estadual e municipal, e é aplicado por empresas que são certificadas para a realização desse serviço [6].

A aplicação do método iRAP é detalhada na Figura 12.3, e é composta por três fases principais: (i) inspeção da via e dados de suporte; (ii) análise utilizando a ferramenta computacional ViDA; e (iii) implementação.

Figura 12.3: Etapas de aplicação do método do iRAP



Fonte: elaborado pelo autor com base em [7]

12.2.1 *Inspeção da via e dados de suporte*

Na primeira fase do método iRAP é realizada a pesquisa da via, que consiste no registro fotográfico, por meio de veículo específico para esse fim, com o objetivo de capturar todos os elementos contidos na faixa de domínio, bem como, suas coordenadas geográficas. As imagens coletadas durante a inspeção devem ser processadas em intervalos fixos, não superiores a 20 metros. Além de localização por coordenada, as imagens coletadas têm a indicação do quilômetro da rodovia.

Posteriormente, é realizada a codificação da via por meio dos atributos para cada trecho viário, conforme predefinido pelo método no Manual de Codificação (em inglês, *Star Rating Coding Manual*⁵). Uma vez codificados, é recomendado que os dados de apoio sejam verificados pelo Guia de Qualidade da Codificação (em inglês, *Road Coding Quality Assurance Guide*). Os segmentos viários devem ter suas características analisadas a cada 100 metros, mediante o registro de cinco imagens — uma a cada 20 metros. São selecionados os atributos mais desfavoráveis para a segurança.

Ainda nessa etapa, são incluídos dados como volume de tráfego e dados de gestão da velocidade, que são informações importantes para calibrar os parâmetros do modelo do iRAP para a aplicação em contextos locais [6].

12.2.2 *Análise utilizando a ferramenta computacional ViDA*

A partir dos dados obtidos na primeira fase, é iniciada a análise por meio do *software online ViDA*⁶, o que garante a aplicação da metodologia de forma padronizada. O ViDA é uma plataforma *online* na qual se realiza a análise da infraestrutura rodoviária para cada usuário individual — ocupantes de veículos, motociclistas, pedestres e ciclistas.

São obtidas notas da Classificação em Estrelas (SRS)⁷: rodovias de cinco estrelas (verde) são as mais seguras, passando pelas rodovias de quatro estrelas (amarela), três estrelas (laranja), duas estrelas (vermelha), até as de uma estrela (preta) — que são as

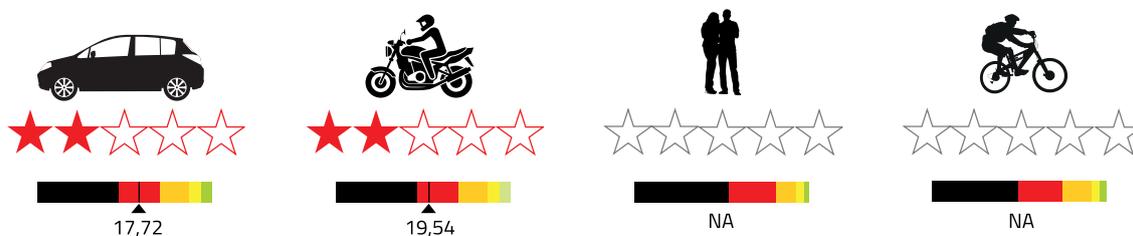
⁵ Para mais informações consultar: <https://irap.org/pt/2014/08/star-rating-coding-Manual-portuguese/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

⁶ Para mais informações consultar: <https://vida.irap.org/en-gb/home>. Acesso em: 20 nov. 2022.

⁷ Em inglês, *Star Rating Score*.

menos seguras. A classificação por estrelas atribui uma nota para cada usuário individual específico: ocupantes de veículos, motociclistas, pedestres e ciclistas. Assim, onde não há presença de determinados usuários, não há atribuição de estrelas para eles, conforme ilustra a Figura 12.4, em que não são obtidas classificações para pedestres e ciclistas.

Figura 12.4: Classificação em Estrelas para cada usuário da via



Fonte: [8]

Obtida a classificação para cada segmento viário de 100 em 100 metros, considerando os quatro tipos de usuários contemplados pelo iRAP, as Classificações em Estrelas são harmonizadas (cálculo de médias) e permitem a visualização da classificação geral da rodovia [6]. Como resultado das análises realizadas no *software* ViDA, são obtidos os seguintes mapas [9]:

- Classificação em Estrelas: mapa da Classificação em Estrelas para diferentes grupos de usuários da via. Assim, é possível observar a mudança do risco ao longo da rede viária;
- Redução da casualidade prevista: apresenta um mapa com o número de lesões graves e fatais previsto para um segmento da via. Esse mapa pode auxiliar na priorização da implementação de contramedidas ao identificar locais específicos ou trechos com maior potencial para salvar vidas.

12.2.3 Implementação

Por fim, a terceira fase de aplicação do método iRAP é a implementação das contramedidas, dada também pelo *software* ViDA. No “Capítulo 13 — Seleção de contramedidas” é apresentado um conjunto de contramedidas que podem ser utilizadas como soluções de segurança em diferentes situações. No “Capítulo 17 — Problemas e soluções típicas

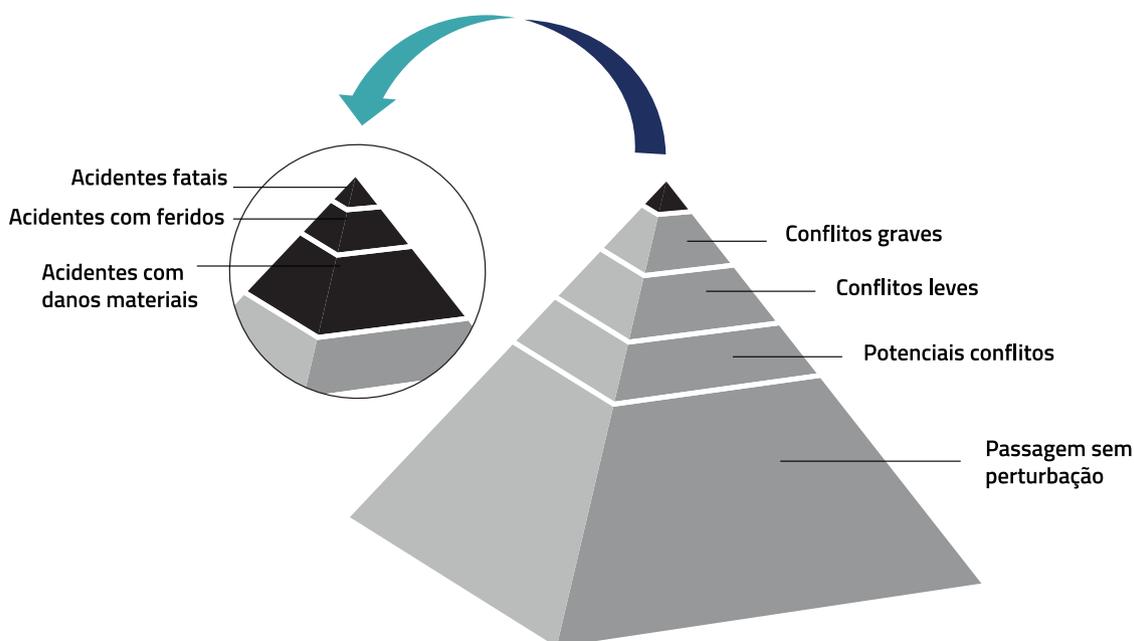
de rodovias brasileiras”, são identificados os principais fatores de risco para diferentes tipos de acidentes, sendo esses fatores relacionados a possíveis contramedidas, identificadas no “Capítulo 13 — Seleção de contramedidas”.

12.3 Técnica de análise de Conflito de Tráfego (TCT)

Entre as diversas técnicas de análise da Segurança Viária, a Técnica de análise de Conflito de Tráfego (TCT) pode ser entendida como uma medida indireta de segurança, além de ser uma medida proativa. Essa técnica apresenta maior quantidade de dados em relação às abordagens reativas — que são limitadas aos dados de acidentes reportados.

A TCT parte do princípio de que todo acidente é precedido de conflito de tráfego. Portanto, analisar e reduzir conflitos significa minimizar os riscos de ocorrência de acidentes e de sua severidade, caso eles ocorram. A relação entre acidentes (e respectivas severidades) e conflitos é ilustrada na pirâmide da segurança na Figura 12.5.

Figura 12.5: Pirâmide da segurança



Fonte: elaborado pelo autor com base em [10]

De forma geral, situações de conflito, por si só, não sugerem deficiências de Segurança Viária. É a presença de conflitos severos e com padrão repetitivo que indica a necessidade de eliminar ou mitigar essa situação.

Embora estudos de conflitos de tráfego sejam adotados principalmente em áreas urbanas, a análise de conflito de tráfego pode contribuir com a avaliação da Segurança Viária em interseções em nível e em entroncamentos rodoviários. A aplicação da TCT é indicada quando os objetivos forem [11]:

- realizar um diagnóstico de segurança em determinado local;
- investigar os fatores que contribuem para o risco de acidentes em determinado local;
- comparar o desempenho de segurança de diferentes normas, regras e características da infraestrutura viária; e
- avaliar os efeitos da implementação de medidas de segurança antes e depois (sem séries históricas de registros de acidentes).

Assim, a TCT pode ser aplicada de forma alternativa a análises de acidentes, ou de forma complementar, podendo contribuir para o entendimento mais amplo dos riscos presentes no sistema viário, em pontos ou segmentos críticos de acidentes, ou mesmo em locais inseguros que, embora não possuam registro de acidentes, existem relatos de ocorrências (evidências observadas), como a presença de detritos de acidentes, marcas deixadas no pavimento etc.

A seguir, é apresentada a aplicação da TCT Sueca, técnica comumente utilizada nas análises de conflitos de tráfego.

12.3.1 *Técnica Sueca de análise de conflitos de tráfego*

Mediante observação, registro e análise dos conflitos, a TCT Sueca permite determinar a velocidade e a distância entre os veículos envolvidos, tornando possível inferir o tempo para o acidente e classificar o conflito. Essa técnica é realizada em quatro etapas principais, conforme apresentado na Figura 12.6.

Figura 12.6: Etapas de aplicação da TCT Sueca

Fonte: elaborado pelo autor

A aplicação da TCT Sueca se inicia pela observação do local. As observações são, geralmente, realizadas em períodos de 1 a 2 horas, com intervalos para descanso do observador. É importante considerar que locais com menor risco de acidente terão menos conflitos, de forma que o estudo desses locais pode implicar em maior período de coleta de dados. O número de observadores necessários depende da complexidade do local em estudo [11].

Os dados de conflitos de tráfego podem ser coletados de diferentes formas: (i) observação direta; (ii) observação por filmagem; ou (iii) visão computacional. É recomendado que a coleta seja realizada da forma menos invasiva possível, para que a presença de pesquisador ou equipamento de filmagem não induza o usuário da via a mudar seu comportamento no local em estudo.

O pesquisador que realiza a observação do conflito de tráfego deve [11]:

- (1) identificar o conflito;
- (2) identificar usuários e veículos envolvidos;
- (3) identificar possíveis usuários secundários envolvidos;
- (4) identificar qual veículo e quando foi realizada a ação evasiva;
- (5) estimar as velocidades dos usuários da via e as distâncias até o ponto de colisão projetado;
- (6) fazer um esboço do conflito;
- (7) fazer uma descrição sucinta do evento.

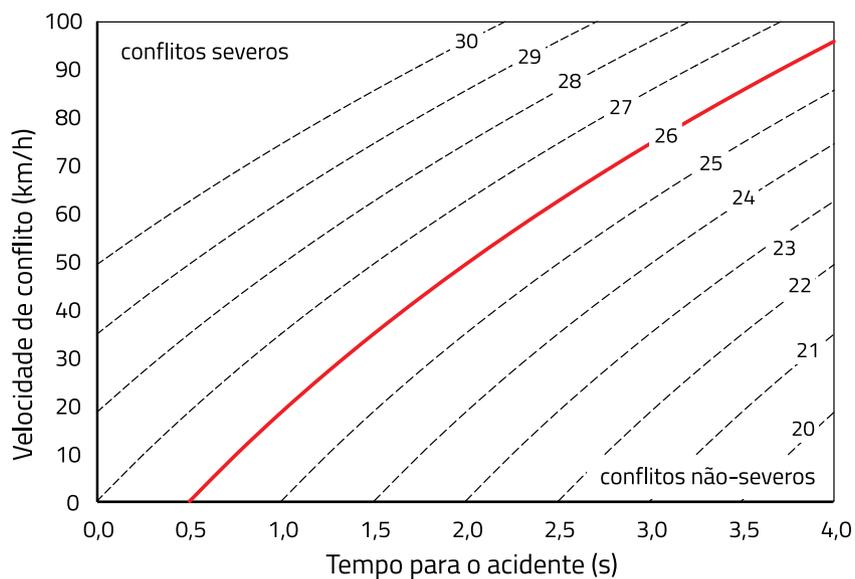
A partir dessas informações, deve-se preencher a Ficha de Registro de Conflito de Tráfego — segunda etapa da aplicação da TCT Sueca — conforme modelo do Anexo C deste Manual.

A classificação do conflito se dá de acordo com a sua severidade, que é definida quando o primeiro usuário envolvido no conflito começa a realizar uma ação evasiva — que pode ser reduzir a velocidade, parar ou desviar. Esse usuário, que realiza a ação evasiva primeiro, é chamado de usuário principal da via. A severidade do conflito é definida quando o usuário principal inicia a ação, por meio dos seguintes indicadores, obtidos na terceira etapa da TCT Sueca [12]:

- Tempo para o acidente (TA)⁸: tempo restante para o acidente quando a ação evasiva é realizada pelo usuário principal da via. Pode ser determinado a partir da distância em que o veículo que realiza a ação evasiva encontra-se do outro veículo, e da velocidade praticada⁹; e
- Velocidade conflitante (CS)¹⁰: velocidade do usuário principal da via quando é realizada a ação evasiva.

Uma vez obtidos esses indicadores, pode ser realizada a classificação da severidade do conflito (quarta etapa), representada numericamente conforme o Gráfico 12.1.

Gráfico 12.1: Diagrama de conflito de tráfego



Fonte: elaborado pelo autor com base em [11]

⁸ Em inglês, *Time-to-Accident*.

⁹ A tabela de cálculo para o tempo para o acidente pode ser encontrada no Apêndice 2 da referência [10].

¹⁰ Em inglês, *Conflicting Speed*.

Um conflito entre veículo e pedestre, por exemplo, no qual o veículo trafega a 50 km/h (CS) e está localizado a dez metros de distância do pedestre quando inicia a desaceleração, tem um tempo para o acidente (TA) de 0,7 segundos. De acordo com o diagrama de conflito de tráfego (Gráfico 12.1), esse conflito é classificado como severo, sendo representado por um nível de severidade de, aproximadamente, 28.

Avaliações antes e depois das intervenções de segurança podem ser realizadas a partir da variação da frequência de conflitos em cada faixa de severidade. Dessa forma, pode ser realizada a hierarquização de diferentes locais quanto à severidade, pela frequência de conflitos de mais alta severidade.

Os conflitos de tráfego podem ser agrupados, também, pelos movimentos que estão sendo executados quando o conflito ocorre, como [13]:

- mesmo sentido de tráfego: conversão à esquerda ou à direita, movimento em frente ou mudança de faixa;
- tráfego oposto: conversão à esquerda ou à direita;
- cruzamento: movimento cruzando a via principal;
- conflito com pedestre: esquina posterior ou anterior ou conversão à esquerda ou à direita.

BOX 1**ANÁLISE DE CONFLITOS DE TRÁFEGO E AVANÇOS TECNOLÓGICOS**

Pesquisas internacionais e nacionais têm empenhado esforços para realizar a identificação e a análise de conflitos de tráfego de forma automatizada. Uma abordagem desenvolvida é adotar a detecção de conflitos em imagens registradas da área em análise e classificar automaticamente os conflitos de acordo com os critérios da TCT Sueca [14]. Outra abordagem que vem ganhando espaço, é a combinação de simulação de tráfego e análise de conflitos, permitindo um diagnóstico da solução em estudo antes mesmo de sua implementação [15].

12.4 Comparação entre as técnicas de abordagens proativas

Abordagens proativas são esforços para promover a Segurança Viária, aplicáveis antecipadamente, sem esperar que acidentes ocorram. Podem ser adotados de forma conjunta ou independente das tradicionais análises de dados de acidentes (abordagem reativa). Uma interseção ou segmento viário que seja identificado como local crítico de acidentes pode ter uma análise mais detalhada sobre suas deficiências de segurança, mediante a aplicação de uma Auditoria de Segurança Viária ou da análise de conflitos de tráfego.

Ao serem aplicadas de forma independente — sem as análises de dados de acidentes —, as abordagens proativas permitem intervenções nas fases de projeto ou em vias existentes que podem não ter registros de acidentes, mas já apresentam problemas de Segurança Viária. O Quadro 12.2 lista as principais vantagens e limitações a serem consideradas na escolha do método que pode ser aplicado em abordagens proativas.

Quadro 12.2: Vantagens e limitações das técnicas de abordagem proativa

	Vantagens	Limitações
ASV	<p>Única técnica que permite a aplicação nas diferentes etapas do projeto.</p> <p>Análise detalhada dos diversos elementos do projeto, ou de condições de campo, identificando potenciais problemas de segurança considerando todos os usuários.</p>	<p>Conduzida por profissionais especializados certificados e independentes.</p>
iRAP	<p>Método com plataforma online para aplicação.</p> <p>Análise por fotos buscando elementos deficientes, considerando os diversos usuários.</p> <p>Permite a classificação da Segurança Viária (Classificação em Estrelas), bem como a sugestão de contramedidas mitigatórias.</p>	<p>Requer codificadores treinados e certificados e equipamento de campo.</p> <p>Não aplicável a configurações viárias com codificação não prevista pelo método.</p>



	Vantagens	Limitações
TCT Sueca	<p>Conflitos de tráfego são muito mais frequentes que acidentes. Dessa forma, ao invés de aguardar por anos para obter registros de acidentes, os dados podem ser coletados em um período muito mais curto [11].</p> <p>Pode utilizar evidências de acidentes em campo não registrados.</p>	<p>Técnica é sujeita à subjetividade do observador.</p> <p>O método requer profissionais treinados, equipamentos para gravação de vídeo e ferramentas para processamento de vídeo.</p>

Fonte: elaborado pelo autor

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NODARI, C. T. **Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Escola de Engenharia — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003
- [2] NODARI, C. T.; LINDAU, L. A. Auditoria da Segurança Viária. **Transportes**, v. 9, n. 2, p. 48—66. 2001. <https://doi.org/10.14295/transportes.v9i2.170>
- [3] AUSTRÁLIA, Austroads. **Guide to Road Safety Part 6A: Implementing Road Safety Audits**. Sydney, Austrália, 2019. Disponível em: <https://austroads.com.au/publications/road-safety/ags06A>. Acesso em: 27 abr. 2023
- [4] RODRIGUES, J. L. F. **Aplicações da técnica de auditoria de segurança viária em segmentos rodoviários no estado de São Paulo — avaliação crítica e reflexões**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010
- [5] RODRIGUES J. L. F.; BEZERRA B.S. Implementing road safety audits in Brazil. In: **Proceedings of the Ictct Extra Workshop Campo Grande**, Brasil, jan. 2005. Disponível em: <http://trid.trb.org/view/855548>. Acesso em: 27 abr. 2023
- [6] Corporação Financeira Internacional (IFC); PAVESYS — Engenharia de Pavimentos; International Road Assessment Programme (iRAP). **Estudos de Viabilidade Técnica: Relatório metodológico de Inspeção de Segurança Rodoviária (ISR) do sistema Nova Dutra**. 2019. Disponível em: <https://participantt.antt.gov.br/Site/AudienciaPublica/VisualizarAvisoAudienciaPublica.aspx?CodigoAudiencia=410>. Acesso em: 27 abr. 2023
- [7] International Road Assessment Programme (iRAP). **iRAP Methodology Fact Sheet 1: Overview**, 2014. Disponível em: <https://irap.org/methodology/>. Acesso em 27 abr. 2023
- [8] International Road Assessment Programme (iRAP). **Plataforma ViDA**. Disponível em: <https://demonstrator.vida.irap.org/>. Acesso em: 18 de jan. 2022
- [9] International Road Assessment Programme (iRAP). **ViDA User Guide**. 2020
- [10] HYDÉN, C. The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. **Bulletin Lund Institute of Technology**, Department of Traffic Planning and Engineering, n. 70. 1987
- [11] LAURESHYN, A.; VÁRHELYI, A. **The Swedish Traffic Conflict Technique: Observer’s Manual**. Lund University, Lund, Suécia, 2018
- [12] FORBES, T. W. Analysis of “near accident” reports. **Highway Research Board Bulletin**, v.152, p 23–37, 1957

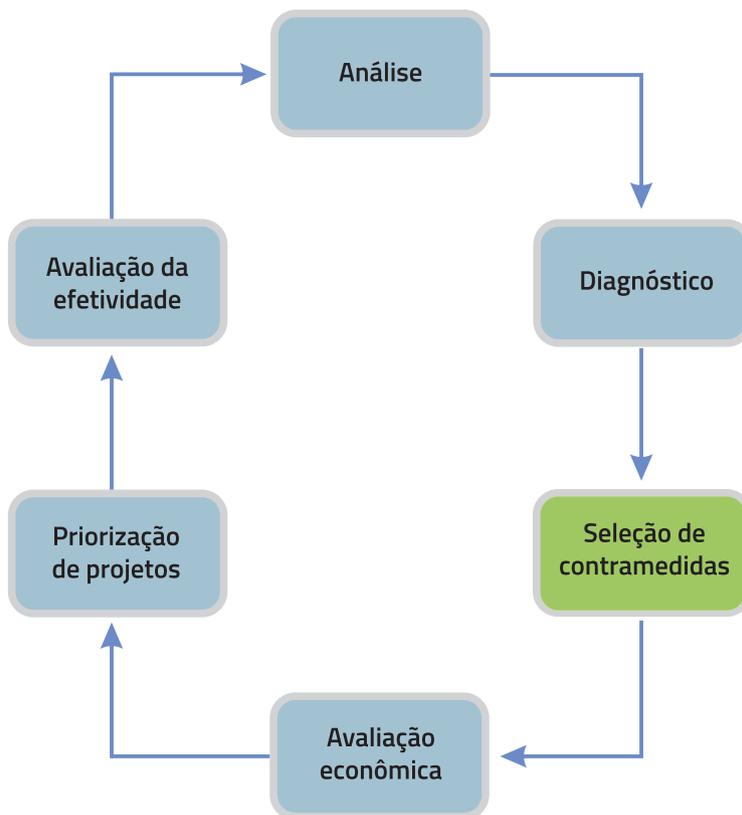
- [13] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations: Observers Manual**. McLean, VA, Estados Unidos, 1989
- [14] SAYED, T.; ZAKI, M. H.; AUTEY J. Automated safety diagnosis of vehicle–bicycle interactions using computer vision analysis. **Safety Science**, v. 59, p. 163–172, Nov. de 2013, doi: 10.1016/j.ssci.2013.05.009
- [15] BALVEDI, G. A. **Microssimulação de tráfego aplicada na avaliação do desempenho da segurança viária em rotatórias: um estudo de caso na rótula da UFSC/Trindade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial) — Centro Tecnológico — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2018



SELEÇÃO DE CONTRAMEDIDAS

A seleção de contramedidas é uma das etapas do processo de Gerenciamento da Segurança Viária. Como já mencionado no “Capítulo 2 — Caráter multidisciplinar da Segurança Viária”, o processo é composto por seis passos: análise, diagnóstico, seleção de contramedidas, avaliação econômica, priorização de projetos e avaliação da efetividade. É um processo contínuo, em que o Sistema Seguro é alimentado com novos dados e a partir deles podem ser feitas novas análises e diagnósticos, proposições de tratamentos mais adequados e avaliações de conjuntos de projetos diferentes aos implementados anteriormente. A Figura 13.1 apresenta o fluxograma das etapas do Gerenciamento da Segurança Viária.

A primeira etapa refere-se à análise dos dados de acidentes e de outras características da rodovia e do seu entorno, ou à identificação de fatores de risco presentes na via e nas laterais, a fim de identificar locais com potencial de melhoria da Segurança Viária. Na segunda etapa, realiza-se o diagnóstico dos locais ou segmentos selecionados, com o objetivo de identificar prováveis causas, padrões ou tendências nos dados [1], [2], como também, avaliar as condições de risco para ocorrência de acidentes. Essas etapas são abordadas no “Capítulo 5 — Uso e tratamento de dados de acidentes”.

Figura 13.1: Etapas do Gerenciamento da Segurança Viária

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1]

A terceira etapa do processo de Gerenciamento de Segurança Viária envolve identificar, avaliar e selecionar as contramedidas adequadas ao risco identificado no local, no segmento ou ao longo de toda a rodovia. Dessa forma, é possível direcionar medidas para eliminar, ou pelo menos mitigar, os fatores de risco e/ou os fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes e, assim, reduzir a frequência e a severidade dos acidentes. A seleção de contramedidas é dividida em dois passos [1], [2], [3]:

- (i) identificar fatores de risco e/ou fatores contribuintes presentes no local analisado. O “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes” dedica-se ao estudo e à apresentação dos fatores de risco e dos fatores contribuintes;

- (ii) identificar as contramedidas que respondem diretamente a esses fatores e que podem reduzi-los, sendo adequadas ao local analisado.

Associar o conceito de contramedida aos fatores de risco, sejam esses relacionados à infraestrutura, aos veículos ou ao comportamento do usuário, é um avanço importante na abordagem da Segurança Viária. Países com alto índice de motorização que realizaram o tratamento de locais identificados com potencial de melhoria da segurança, experimentaram redução considerável no número de mortes no trânsito nas últimas décadas [4].

Este capítulo apresenta o conceito e o processo para a seleção de contramedidas considerando a identificação dos locais que precisam de melhoria na Segurança Viária. Também são discutidos os tratamentos de engenharia que são comprovadamente eficazes e adequados para cada caso. Além disso, o capítulo discorre sobre as particularidades locais a serem observadas para a efetividade das contramedidas. Este Manual limita-se ao estudo de contramedidas eficazes no âmbito da engenharia rodoviária, contudo, recomenda-se fortemente a atuação conjunta com as demais áreas abrangidas pela Segurança Viária, como a educação e a fiscalização.

13.1 Conceito e objetivos das contramedidas

Uma contramedida é uma intervenção projetada para reduzir ou eliminar o risco de acidentes ou lesões graves em um local, segmento ou ao longo de toda a rodovia. É a reação a um potencial risco e só existe para fazer frente a um ou mais fatores de risco e/ou fatores contribuintes. As contramedidas podem ser de diferentes naturezas, como ações de segurança direcionadas às vias e laterais das vias, às velocidades praticadas, aos usuários e aos veículos. Este Manual dedica-se a apresentação das contramedidas voltadas às vias seguras.

O objetivo principal da etapa de seleção de contramedidas no processo de Gerenciamento da Segurança Viária é identificar e selecionar contramedidas mais adequadas

para cada caso. As contramedidas podem atuar na redução (ou até mesmo eliminação) da probabilidade de ocorrência de acidentes de qualquer natureza, na severidade dos acidentes quando esses de fato ocorrem, ou em ambos [1]. No processo de seleção de contramedidas é preciso [2]:

- verificar se a seleção de contramedidas tem consequências indesejáveis, em termos de Segurança Viária ou não;
- maximizar os benefícios que podem ser alcançados com o orçamento disponível (garantir que as contramedidas selecionadas sejam economicamente viáveis);
- selecionar contramedidas em que os benefícios (redução e/ou eliminação de acidentes) superem os custos (custos de implantação e manutenção).

Outras questões importantes a serem consideradas na seleção de contramedidas referem-se aos efeitos sobre o tráfego, à viabilidade construtiva, às questões ambientais, à acessibilidade, à aceitação e ao entendimento público, à compatibilidade com outras soluções implantadas e aos recursos disponíveis [2].

As contramedidas contemplam ações para os cinco pilares da Segurança Viária¹, portanto, podem ser direcionadas à engenharia ou a ações de educação e de fiscalização, além de melhorias no atendimento às emergências e análises das alterações observadas nas ocorrências [3]. Para a seleção de contramedidas é preciso compreender quais fatores de risco e/ou fatores contribuintes estão presentes, identificar as ações que podem eliminá-los ou reduzi-los e avaliar o que é física, financeira e politicamente factível no local [1]. Em locais ou segmentos identificados como de alto risco, recomenda-se tratamento individualizado na implementação de contramedidas de forma direcionada às especificidades locais.

¹ Os cinco pilares da Segurança Viária referem-se à engenharia, educação, esforço legal, resposta às emergências e avaliação. Os pilares são apresentados com detalhes no “Capítulo 2 — Caráter multidisciplinar da Segurança Viária”.

13.2 Seleção de contramedidas

A seleção de contramedidas parte da etapa de diagnóstico para identificar os locais ou segmentos com potenciais de melhoria da Segurança Viária, podendo ser realizada por meio de abordagens reativas ou de abordagens proativas². Abordagens proativas são importantes para identificar fatores de risco em todas as fases de projeto, evitando que elementos inseguros sejam implantados, e para análises de risco em rodovias abertas ao tráfego, aplicando melhorias antes que os acidentes ocorram. Já as abordagens reativas referem-se à identificação de fatores de risco e/ou fatores contribuintes após a ocorrência de acidentes em rodovias abertas ao tráfego. Nesse tipo de abordagem, o diagnóstico pode ser realizado por meio da análise de dados de acidentes registrados.

Uma vez que os locais ou segmentos são identificados, independentemente da abordagem escolhida, o procedimento de seleção de contramedidas consiste em, primeiramente, identificar os fatores que contribuem para ocorrência de acidentes (abordagem reativa) ou os fatores de risco (abordagem proativa). Com essas análises, parte-se para o segundo passo, em que devem ser determinadas todas as contramedidas adequadas para os fatores de risco e/ou fatores contribuintes identificados no local ou segmento com potencial de melhoria.

Cada contramedida tem um custo associado e os gestores das rodovias costumam ter orçamentos limitados para fazer melhorias na Segurança Viária. Nesse contexto, é necessário analisar com a combinação de contramedidas e locais pode promover maior redução de mortes e feridos graves, considerando o orçamento disponível. Isso requer conhecimento sobre a efetividade das contramedidas, em diferentes cenários. Também requer a aplicação de um processo de priorização de projetos de intervenção, por meio de um método de ranqueamento para maximizar os resultados que, muitas vezes, é baseado em uma avaliação econômica do projeto [2].

As etapas seguintes à seleção de contramedidas no processo de Gerenciamento da Segurança Viária — avaliação econômica, priorização de projetos e avaliação da

² Informações detalhadas sobre abordagens reativas e abordagens proativas podem ser encontradas no “Capítulo 2 — Caráter multidisciplinar da Segurança Viária”.

efetividade — são apresentadas no “Capítulo 14 — Avaliação econômica e monitoramento dos projetos implantados”.

13.2.1 *Identificação dos fatores contribuintes e/ou fatores de risco*

O primeiro passo da seleção de contramedidas é identificar os fatores contribuintes e/ou os fatores de risco³ presentes no local, segmento ou ao longo de toda a rodovia. O estudo aprofundado dos fatores de risco e dos fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes auxilia na compreensão dos problemas da Segurança Viária e subsidia a escolha de contramedidas para solucioná-los. Conhecer os principais fatores que atuam em cada local é fundamental para elaborar projetos seguros, assim como para promover a operação adequada das rodovias, reduzindo ou eliminando o risco da ocorrência e severidade dos acidentes.

Na abordagem proativa, a identificação dos fatores de risco existentes na infraestrutura rodoviária deve ser realizada desde as faixas de tráfego até as laterais da via, levando em consideração condições como: classe da rodovia, geometria das curvas, superelevação, número e largura de faixas, estado do pavimento, densidade de acessos, condição do acostamento, presença de zona livre lateral segura, de dispositivos de drenagem e de taludes traspassáveis com segurança, condição da sinalização e da iluminação etc. As questões geométricas identificadas na plataforma devem ser atendidas por projetos seguros de melhorias. O tratamento do risco nas laterais das vias e nos canteiros centrais deve obedecer à ordem de tratamento de risco descrita no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”, avaliando-se a necessidade de remover, realocar ou redesenhar obstáculos fixos, taludes e dispositivos de drenagem dentro da zona livre, de implantar dispositivos de contenção ou, ainda, de delinear o local de risco.

Na abordagem reativa, a avaliação dos fatores contribuintes deve considerar os dados sobre acidentes, a documentação complementar e as condições de campo, buscando identificar as soluções de engenharia com potencial para reduzir a frequência e/ou a severidade dos acidentes.

³ Para mais informações, ver “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”.

Independentemente da abordagem, a avaliação de fatores de risco e de fatores contribuintes, sob um olhar de engenharia, pode incluir a comparação das condições locais com a literatura e boas práticas de Segurança Viária ou, ainda, com os padrões de projeto nacionais e locais quanto a: condições geométricas, sinalização, dispositivos de contenção, visibilidade, conflitos de tráfego, zonas de obras etc. [1]. A identificação de uma anomalia de projeto nessa comparação pode ajudar no entendimento de alguns fatores de risco. É importante destacar que a consistência com os padrões de projeto não significa, necessariamente, uma rodovia plenamente segura. Às vezes, uma série de elementos individuais, todos projetados de acordo com os padrões, podem, quando combinados, tornar-se inseguros [5].

13.2.1.1 Avaliação do risco

A avaliação do risco contribui para a priorização dos tratamentos a serem implantados visando aumentar a Segurança Viária em um local ou segmento viário. O nível de risco e a prioridade de ação devem ser avaliados de acordo com os problemas e riscos encontrados nas vias. Conforme o Guia para Segurança Viária⁴ da *Austroads*, os parâmetros de risco se traduzem na probabilidade de ocorrência e na severidade dos acidentes, que são analisados para os tipos de acidentes associados a cada fator de risco, em diferentes níveis [6].

Os parâmetros de risco e seus níveis são descritos na Figura 13.2, a qual apresenta uma matriz de risco de acidentes. Essa matriz relaciona cinco níveis de probabilidade de ocorrência e da severidade dos acidentes, permitindo avaliar a prioridade de tratamento para mitigação do risco. A probabilidade de ocorrência varia entre rara e quase certa, de acordo com a experiência australiana, sendo um bom exemplo de parâmetro para decidir sobre as ações a serem tomadas. O nível mais baixo de severidade é descrito como mínimo (acidentes com danos materiais somente) e o mais alto, fatal (quando há fatalidade em até 30 dias após a ocorrência do acidente) [6].

⁴ Tradução livre de *Guide to Road Safety*.

Figura 13.2: Matriz de risco de acidentes

Matriz de Risco		Severidade				
		Mínimo (danos materiais somente)	Pequeno (primeiros socorros leves)	Moderado (atendimento hospitalar sem internação)	Grave (internação hospitalar)	Fatal (até 30 dias após o acidente)
Probabilidade (inclui exposição)	Quase certo (1 acidente a cada 3 meses)	Médio	Alto	Alto	Extremo	Extremo
	Provável (1 acidente de 3 meses a 1 ano)	Médio	Médio	Alto	Extremo	Extremo
	Possível (1 acidente de 1 a 3 anos)	Baixo	Médio	Alto	Alto	Extremo
	Pouco Provável (1 acidente de 3 a 7 anos)	Pequeno	Baixo	Médio	Alto	Extremo
	Raro (1 acidente há mais do que 7 anos)	Pequeno	Pequeno	Baixo	Médio	Alto

Limite para o resultado dos acidentes
de acordo com o Sistema Seguro

Fonte: traduzido de [6]

A matriz fornece como resultado cinco níveis de prioridade para a mitigação dos riscos [6]:

- pequeno: nenhuma ação necessária;
- baixo: deve-se corrigir ou reduzir o risco, se o custo do tratamento for baixo;
- médio: deve-se corrigir ou reduzir o risco significativamente, se o custo do tratamento for moderado;
- alto: deve-se corrigir ou reduzir o risco significativamente, mesmo que o custo do tratamento seja alto;
- extremo: deve-se corrigir o risco independentemente do custo.

Mesmo não havendo uma orientação definitiva para os valores monetários dos custos dos tratamentos, é possível considerá-los em relação ao custo total de projeto. Além disso, de acordo com a matriz de risco, há um limite a ser alcançado para o resultado dos acidentes, em que a relação da probabilidade e da severidade não resulte em um nível extremo de risco, alinhando-se com os princípios do Sistema Seguro [6].

13.2.1.2 *Possíveis fatores contribuintes e/ou fatores de risco*

Neste item são apresentados os possíveis fatores de risco e/ou fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes, considerando o contexto local, o tipo de acidente e os usuários envolvidos. Para cada padrão de acidente identificado pode haver diversos fatores contribuintes. Na sequência, são fornecidos elementos que podem auxiliar na identificação destes fatores, entre tantos possíveis, de forma a minimizar a probabilidade de que um fator de risco importante seja desprezado [1].

Conforme apresentado no “Capítulo 4 — Fatores de risco e fatores contribuintes para os acidentes”, os principais fatores de risco que contribuem para a ocorrência e para a severidade dos acidentes são [1]:

- velocidade: velocidades elevadas, assim como o diferencial de velocidade, têm grande influência na probabilidade de ocorrência e na severidade dos acidentes, sendo um dos fatores mais relevantes;
- exposição ao fluxo de tráfego: quanto maior a exposição, maior a probabilidade de se envolver em acidentes. A composição e o volume de tráfego são fatores de risco;
- fatores humanos: comportamento e condição física das pessoas; ingestão de álcool, drogas ou medicamentos; cansaço e fadiga; condução perigosa; falta de habilidade motora e cognitiva; falta de experiência; desvio de atenção; não ver e não ser visto; idade;
- fatores da via e do meio ambiente: condições da via e do ambiente ao redor, como classe da rodovia; problemas de consistência do projeto; superelevação e superlargura; raio de curvatura; número e largura das faixas de tráfego, faixas adicionais; canteiro central; acostamento e laterais da via; densidade de acessos; interseções; sinalização; iluminação; obras de arte especiais; obras na pista; drenagem e pavimentação; chuva; vento forte; neblina e fumaça; óleo ou outro material lubrificante sobre a pista; propaganda comercial; animais atravessando a via; e período noturno;
- fatores do veículo: pneus com desgaste acentuado ou defeituosos; freios desregulados; sistema de suspensão/estabilização com problemas; limpador do para-brisa sem funcionar ou com mau funcionamento; espelho

retrovisor quebrado; faróis desregulados ou queimados, entre outros. Além disso, são fatores de risco: porte dos veículos (como motocicletas ou veículos pesados); uso de equipamentos de proteção individual etc.

- fatores institucionais ligados à regulamentação e à fiscalização do trânsito;
- provisão de tratamento médico e reabilitação pós acidente.

13.2.2 *Identificação das contramedidas*

Diferentes contramedidas podem ser usadas para melhorar a Segurança Viária com contribuições diversas para as reduções no número de mortes e feridos graves. Porém, nem todas as contramedidas são igualmente eficazes, pois enquanto algumas fornecem benefícios substanciais, outras têm resultados limitados ou até efeitos prejudiciais para a Segurança Viária. Contramedidas eficazes são aquelas que reduzem lesões fatais e graves. Contramedidas altamente eficazes reduzem substancialmente ou eliminam essas lesões. Contramedidas ineficazes não reduzem lesões [7].

Considerando o contexto da abordagem do Sistema Seguro, os tratamentos de Segurança Viária podem ser divididos entre primários e de suporte [8]. Tratamentos primários contribuem para eliminar o número de mortes e feridos graves em acidentes de trânsito. Isso pode ser alcançado ao reduzir as forças de impacto para níveis suportáveis pelo corpo humano ou ao separar diferentes usuários da rodovia que circulam em diferentes velocidades. Tratamentos de suporte auxiliam na entrega de melhorias de Segurança Viária, mas apenas de forma incremental. Por exemplo, algumas contramedidas podem reduzir a ocorrência de acidentes (incluindo acidentes graves), mas não a severidade do impacto, se o acidente ocorrer. Assim, é fortemente recomendado que tratamentos primários sejam empregados onde for possível, como um esforço para alcançar os objetivos do Sistema Seguro [2].

Qualquer intervenção deve ser avaliada ao longo do tempo para que seja possível compreender os seus resultados no curto e longo prazo. Algumas alterações na via podem, muitas vezes, aumentar o risco de acidentes, pois os usuários podem se sentir mais seguros para assumir mais riscos. Nesse sentido, mesmo as contramedidas consideradas eficazes devem ser implementadas corretamente para que ocorra a redução esperada nos acidentes fatais e graves [7].

A hierarquia de controle geralmente é utilizada na avaliação de risco para a seleção e priorização de contramedidas, pois auxilia na identificação, baseada em evidências, de uma ordem prioritária para diferentes tipos de tratamentos de Segurança Viária. É recomendada uma hierarquia de engenharia rodoviária conforme a abordagem do Sistema Seguro. A hierarquia proposta pelo manual da PIARC tem quatro níveis [2]:

- nível 1: condicionar as forças transmitidas no impacto para que suas magnitudes estejam dentro das tolerâncias humanas (particularmente mediante o gerenciamento da velocidade);
- nível 2: projetar para que a rodovia seja autoexplicativa (isso inclui projetar para causar naturalmente um comportamento seguro do usuário da rodovia);
- nível 3: projetar para oferecer oportunidades para os usuários da rodovia se recuperarem de erros e não conformidades;
- nível 4: projetar para reduzir a severidade caso o acidente não seja evitado.

Dado que o objetivo da abordagem do Sistema Seguro é eliminar acidentes com mortos e feridos graves, é importante entender o efeito que diferentes contramedidas têm nesses acidentes. Muitas pesquisas sobre a eficácia de contramedidas fornecem informações sobre a redução de acidentes com vítimas, visto que usualmente estes são os dados disponíveis para realizar estudos. No entanto, a redução no número de acidentes com ferimentos leves ou danos materiais é usualmente desconhecida, podendo ocorrer um ligeiro aumento devido à redução da severidade. Em contramedidas focadas na redução da severidade e não na frequência do acidente, esse resultado é considerado positivo, visto que menos pessoas perderam a vida no local ou segmento tratado [2].

Na ausência de informações sobre o efeito das contramedidas nos resultados de acidentes fatais e graves, informações sobre a redução total de acidentes devem ser usadas em conjunto com boas práticas e conhecimento do local. O Quadro 13.1 apresenta diversas contramedidas que podem ser adotadas para melhoria da Segurança Viária, descrevendo a contramedida e apresentado um valor referente à efetividade esperada para redução do número de mortos e feridos graves, de acordo com referências internacionais.

Quadro 13.1: Contramedidas de Segurança Viária e efetividade esperada na redução do número de mortos e feridos graves

	Contramedida	Descrição	Efetividade
1	Gerenciamento de velocidade		
1.1	Regulamentação de velocidade apropriada ao local e reforço da sinalização de regulamentação	Limites de velocidades estabelecidos para fornecer mobilidade segura a todos os usuários da via, apoiados por um projeto de infraestrutura adequado. É recomendado reforçar a sinalização de regulamentação da velocidade em locais oportunos (por exemplo, curvas acentuadas, praças de pedágio, locais com elevado índice de acidentes etc.), de modo a enfatizar a velocidade segura para trafegar naquele local.	Mais de 30% (3)
1.2	<i>Traffic calming</i> (medidas moderadoras de tráfego)	Medidas que promovem mudanças na geometria da via a fim de induzir a redução da velocidade. Devem ser implantadas em locais cujas velocidades sejam incompatíveis com a segurança dos usuários vulneráveis. Podem ser: lombadas, lombofaixas, estreitamentos da via, ilhas centrais, bulbos, rotatórias, rotatórias alongadas etc.	25% a 40% (1) (2) Mais de 30% (3)
1.3	Lombada	Tem uma atuação pontual, podendo ser utilizada quando há demanda de travessia de pedestres ou aproximação de interseções com pontos de conflito. Se implantadas sequencialmente, podem impor uma velocidade constante em um segmento da via, não somente uma desaceleração e posterior aceleração, evitando que o veículo retome a velocidade inicial. Deve vir acompanhada de sinalização adequada para advertir o motorista e, quando necessário, de iluminação do trecho.	Mais de 30% (3)
1.4	Lombada eletrônica/controlador eletrônico de velocidade	Auxilia na redução de velocidade e na fiscalização de trânsito. Tem uma atuação pontual, podendo ser utilizada quando há demanda de travessia de pedestres. Deve ser utilizada junto à sinalização adequada, especialmente com indicação da velocidade regulamentada.	25% a 40% (1)



Contramedida		Descrição	Efetividade
1.5	<i>Gateway treatments</i> (tratamentos de entrada)	Sinalização usada em combinação com outras medidas (incluindo estreitamento de faixa físico ou demarcado) para criar uma transição entre ambientes de alta e baixa velocidade.	Mais de 30% (3)
1.6	Linha de estímulo à redução de velocidade	Sinalização transversal à via para alertar o motorista sobre a necessidade de reduzir a velocidade por meio de som e vibração, quando o veículo passa sobre as linhas.	10% a 25% (1)
1.7	Comboio rodoviário — sob condições climáticas adversas	Medida operacional para condições de baixa visibilidade devido à presença de neblina, especialmente em trechos de serra, em que os veículos são agrupados em comboios, em velocidade reduzida, até um ponto com visibilidade adequada.	Sem informação
2 Vias seguras			
2.1	Melhoria do pavimento	O pavimento deve estar em boas condições de trafegabilidade, com coeficiente de atrito adequado. Entretanto, deve-se ter atenção especial a essa contramedida, uma vez que os usuários podem desenvolver velocidades mais altas quando há melhoria no pavimento.	25% a 40% (1) 20% a 63% (2)
2.2	Melhoria da drenagem superficial	Melhorar o escoamento das águas superficiais evita acúmulo de água sobre a pista, situação que pode provocar aquaplanagem. A melhoria da drenagem superficial pode ser realizada com alterações na declividade transversal da pista, instalação de ranhuras transversais, revestimento asfáltico drenante, entre outros.	Sem informações
2.3	Garantia de condições de visibilidade	O projeto de rodovia segura deve garantir que as configurações geométricas e as características do entorno não causem limitações visuais aos motoristas, fornecendo distância de visibilidade adequada às características do trecho.	25% a 40% (1)
2.4	Superlargura	Alargamento da faixa de tráfego em curvas, especialmente em curvas restritas. Permite que veículos percorram trechos curvos com mais segurança, facilitando a inscrição de veículos no traçado, principalmente veículos longos.	25% a 40% (1)



	Contramedida	Descrição	Efetividade
2.5	Superelevação	Declividade transversal aplicada na pista nos trechos em curvas, para contrabalancear o efeito da aceleração centrífuga. Auxilia o veículo a trafegar em curvas de maneira segura e confortável, garantindo mais estabilidade aos veículos e facilitando sua permanência na faixa de rolamento.	Sem informações
2.6	Melhoria da consistência	Manter o padrão dos elementos geométricos na rodovia, como alinhamento da via, configuração de interseções, sinalização, localização de pontos de acessos e zonas de ultrapassagem, incluindo elementos das laterais da via.	Sem informações
2.7	Melhoria da legibilidade	Garantir projetos geométricos de fácil leitura e entendimento, de forma que a rodovia seja autoexplicativa, para evitar surpreender os motoristas com elementos desconhecidos que podem gerar indecisões, erros e, potencialmente, acidentes.	10% a 25% (1)
2.8	Melhoria do delineamento de curvas horizontais acentuadas	Pode ser aplicada antes e/ou dentro da curva, para alertar os motoristas sobre a presença de curvas acentuadas, a direção e nitidez da curva e a velocidade operacional apropriada.	10% a 25% (1) 15% a 60% (2)
2.9	Acostamento pavimentado	A pavimentação do acostamento melhora a aderência dos pneus do veículo ao pavimento, em caso de saída de pista, garantindo uma superfície uniforme e mais segura. O risco de acidente será menor se o veículo puder parar no acostamento ou voltar com segurança para a faixa de tráfego. Providencia local seguro para parada de emergência em quaisquer condições climáticas.	25% a 40% (1)
2.10	Acostamento em nível	Degraus acentuados entre o acostamento e a pista podem resultar em perda de controle do veículo em casos de saída de pista. Acostamentos em nível permitem que veículos errantes retornem com segurança à faixa de tráfego.	11% a 21% (2)



Contramedida		Descrição	Efetividade
2.11	Rampas de escape	Rampas de escape são implantadas nas laterais das vias, geralmente em trechos com declive acentuado, com o objetivo de oferecer uma zona segura e isolada para a desaceleração emergencial de veículos pesados.	Sem informações ⁵
2.12	Faixa adicional	Faixa de tráfego adicional em aclives acentuados, em que a composição de tráfego de veículos pesados justifique a introdução de uma faixa para não formarem pelotões em razão da redução de velocidade desses veículos, minimizando o diferencial de velocidades, reduzindo conflitos e melhorando a capacidade da via.	25% a 40% (1)
2.13	Duplicação	Vias duplicadas introduzem uma barreira ou canteiro central, reduzindo as chances de colisões frontais. Os projetos de vias duplicadas demandam soluções que simplificam os movimentos de tráfego e redirecionam movimentos de conversão para locais mais seguros.	25% a 40% (1)
2.14	Via marginal	Implantada longitudinalmente à via, coleta o tráfego local e organiza o tráfego de entrada e saída da via principal, em especial os movimentos de entrelaçamento, minimizando conflitos e melhorando a capacidade da via principal.	25% a 40% (1)
2.15	Contornos rodoviários	Construção de rodovia de contorno para desviar o tráfego de aglomerados urbanos, especialmente o tráfego de veículos pesados.	Sem informações



⁵ Não foram encontrados estudos acerca do impacto das rampas de escape na ocorrência de acidentes. A efetividade dessa contramedida depende, entre outros fatores, de quão longo e íngreme é o declive, das condições do terreno lateral à via e se há curvas horizontais no trecho [9], além da decisão dos motoristas de utilizá-la. Contudo, sabe-se que, quando bem dimensionadas, as rampas de escape são altamente efetivas em parar veículos pesados que apresentam falhas mecânicas, evitando que os veículos que optam por utilizá-la se envolvam em acidentes graves, como saídas de pista ou capotamentos.

Contramedida		Descrição	Efetividade
2.16	Controle de acessos	Controles de acesso evitam que conflitos dos movimentos de ingresso e egresso da rodovia ocorram em demasia, especialmente em vias de alta velocidade. Com o controle implementado, esses movimentos ocorrem em interseções com desenhos mais seguros e devidamente sinalizados e espaçados.	25% a 40% (1) 25% a 31% (2)
2.17	Canteiro central	Canteiros centrais podem ser separadores físicos ou fictícios do fluxo de tráfego. Os físicos constituem uma segregação física, construídos como separadores de duas pistas de rolamento, enquanto os fictícios são constituídos por pintura central no pavimento, como zebrações, para aumentar a separação dos fluxos opostos.	Canteiro fictício: 10% a 25% (1)
2.18	Iluminação	Recomendada em cruzamentos com geometria complexa e com muitos pontos de convergência e/ou divergência de tráfego, travessias urbanas, trechos em serra, cruzamentos de pedestres em nível e locais com alta ocorrência de acidentes.	28 a 42% (2)
2.19	Controle de travessia de fauna	Medidas de controle de travessia de fauna servem para evitar o acesso de animais à rodovia e os consequentes acidentes que a presença de animais pode causar. Podem referir-se a cercas laterais ou passagens de fauna em desnível e devem sempre estar adequadas ao tipo de animal cujo acesso pretende-se evitar.	Sem informação
2.20	Melhoria da sinalização vertical	A sinalização vertical deve comunicar-se adequadamente com os usuários da via, de modo a obter a eficácia necessária das regras de circulação adotadas, advertir situações e locais de risco e dar informações adequadas de orientação e destino.	10% a 25% (1)
2.21	Melhoria da sinalização horizontal	A sinalização horizontal deve comunicar-se adequadamente com os usuários da via, de modo a obter a eficácia necessária das regras de circulação adotadas. Deve-se adotar elementos retrorrefletivos para auxiliar a visão em período noturno e ter bom contraste e boa visibilidade diurna.	10% a 25% (1)



	Contramedida	Descrição	Efetividade
2.22	Linha de bordo — aumento da largura e visibilidade sob condições climáticas adversas	Aumenta a visibilidade dos limites da faixa de rolamento em comparação com linhas de bordo tradicionais. Aumento da retrorrefletividade, com desempenho sob chuva, podendo também ser incluídos sonorizadores.	37% (2)
2.23	Sonorizadores laterais	Utilizados para alertar os motoristas, por meio de vibração e som, de que o veículo está ultrapassando os limites da faixa de rolamento.	13% a 64% (2) Até 30% (3)
2.24	Barreira central	Barreiras centrais, metálicas ou de concreto, atuam principalmente na redução de colisões frontais. Também podem ajudar a evitar manobras perigosas de ultrapassagem e redirecionar os movimentos de conversão para locais mais seguros. Além disso, barreiras centrais são recomendadas em vias de alta velocidade e acesso controlado.	60% ou mais (1) Mais de 30% (2)
2.25	Sistemas inteligentes de informação - Painéis de Mensagens Variáveis (PMVs)	Sistemas inteligentes de informação auxiliam os usuários e os gestores das rodovias a manejar incidentes que podem prejudicar a segurança. Um exemplo de solução que depende de sistemas inteligentes de informação são PMVs, que fornecem informações sobre as condições de operação da via e do tráfego, como acidentes, congestionamentos, direcionamento do tráfego, emergências, rotas alternativas, obras e condições meteorológicas adversas, por meio de mensagens dinâmicas e diretas.	Sem informações
3	Laterais das vias seguras		
3.1	Zona livre lateral	Garantem áreas sem obstruções e objetos fixos, adjacente à plataforma rodoviária, com largura adequada e terreno relativamente plano e nivelado.	25% a 40% (1)
3.2	Dispositivos de drenagem traspassáveis	Projetar ou redesenhar dispositivos de drenagem para serem traspassáveis com segurança. Elementos de drenagem não devem estar à frente dos dispositivos de contenção longitudinal.	25% a 40% (1)



Contramedida	Descrição	Efetividade
3.3 Taludes traspassáveis	É recomendável a implantação de taludes de aterro recuperáveis e taludes de corte suaves e desobstruídos. Em taludes de aterro não recuperáveis ou críticos e taludes de corte com superfície que pode provocar enganchamento devem ser previstos dispositivos de contenção lateral.	10% a 25% (1)
3.4 Suportes colapsíveis	São projetados para se romperem de forma previsível e podem ser implantados em suportes de sinalização vertical, luminárias e postes utilitários.	Sem informações
3.5 Dispositivos de contenção lateral	Quando não for possível remover obstáculos dentro da zona livre lateral ou houver dispositivos de drenagem não traspassáveis, taludes críticos ou curvas acentuadas, deve-se implantar dispositivos de contenção para proteger os usuários em caso de perda de controle do veículo e saída de pista.	40% a 60% (1) Mais de 30% (2)
4 Interseções		
4.1 Melhoria da legibilidade	É necessário o delineamento claro nas interseções para informar aos usuários sobre a existência de uma interseção à frente e para fornecer informações sobre os tipos de manobras que podem ocorrer.	10% a 25% (1)
4.2 Melhoria da visibilidade	O projeto da interseção deve assegurar que o motorista tenha visão desimpedida de toda a interseção e de parte dos ramos de acesso, sendo garantidos os triângulos de visibilidade em todas as aproximações. Objetos que obstruem a visão dos usuários nas aproximações e nos dispositivos de interseção devem ser removidos.	25% a 40% (1)



Contramedida	Descrição	Efetividade
4.3 Melhoria da sinalização horizontal	A sinalização horizontal deve comunicar-se adequadamente com os usuários da via de modo a obter a eficácia necessária das regras de circulação adotadas, delimitando as faixas de tráfego, indicando os movimentos permitidos em cada faixa e definindo a prioridade dos movimentos nas aproximações. Deve-se adotar elementos retrorrefletivos para auxiliar a visibilidade no período noturno e ter bom contraste e boa visibilidade diurna.	10% a 25% (1) Até 30% (3)
4.4 Melhoria da sinalização vertical	A sinalização vertical deve comunicar-se adequadamente com os usuários da via, advertindo situações e locais de risco, fornecendo informações adequadas de orientação e destino, indicando os movimentos permitidos e a ordem de prioridade dos movimentos na interseção, de modo a obter a eficácia necessária das regras de circulação adotadas.	10% a 25% (1) Até 30% (3)
4.5 Redesenho de interseções	Alterações geométricas em interseções existentes podem ser necessárias para aumentar a segurança, reduzindo, ou até mesmo eliminado, conflitos de tráfego existentes. Alterações nas angulações das entradas e saídas, abertura ou fechamento de acesso e ajustes de raios, são exemplos de ações de redesenho que podem aumentar a segurança em interseções.	Sem informações
4.6 Iluminação	Recomendada para melhorar a visibilidade noturna em cruzamentos em nível, locais de travessias de pedestres, bem como locais de conflito de tráfego ou dispositivos complexos em desnível.	28 a 42% (2)
<i>Cruzamento em nível</i>		
4.7 Canalização	Aumenta a distância entre os pontos de conflito, permitindo que o usuário identifique de forma individualizada esses pontos, tome a decisão de entrar ou sair da via principal com segurança e ajuste sua velocidade (de entrada ou saída).	Sem informações



Contrameditada	Descrição	Efetividade	
4.8	Introdução de deflexões e estreitamento de faixa	São medidas moderadoras de tráfego (<i>traffic calming</i>) que se caracterizam pela implementação de um conjunto de elementos físicos para reduzir a velocidade dos veículos motorizados, garantindo condições de circulação compatíveis para os diferentes modos de transporte e a segurança dos usuários vulneráveis. Podem ser realizadas por meio do prolongamento de calçadas, por pintura horizontal ou outras medidas associadas à travessia de pedestres.	Sem informações
4.9	Rotatória	É capaz de induzir a redução de velocidade nas aproximações e na própria interseção, bem como diminuir o ângulo e o número de conflitos de tráfego. Sua principal função é desviar, canalizar e organizar os fluxos nas conversões, garantindo uma velocidade de tráfego mais segura.	60% ou mais (1) Mais de 30% (3)
4.10	Faixa exclusiva para conversão à esquerda	Fornece uma área para que os veículos que trafegam em uma dada direção e desejam fazer uma conversão à esquerda possam reduzir a velocidade e aguardar para cruzar o sentido oposto com segurança.	10% a 25% (1) 28% a 48% (2) Até 30% (3)
<i>Cruzamento em desnível</i>			
4.11	Cruzamento em desnível	Separam os conflitos no espaço (desnível), eliminando a possibilidade de conflitos de maior severidade, como os de cruzamento. Recomendados para vias de alta velocidade com controle total ou parcial de acessos. O projeto deve ter em conta os conflitos de entrelaçamento e o comprimento das alças de acesso. Deve-se ter especial atenção se há demanda de usuários vulneráveis, para acomodá-los de forma a garantir a segurança de todos os usuários, sem penalizar as travessias de pedestres e ciclistas.	25% a 40% (1) Mais de 30% (3)



Contra medida	Descrição	Efetividade	
4.12	Faixas de aceleração e desaceleração	Propiciam espaço adequado aos veículos para realizar manobras de aceleração ou desaceleração com segurança, ao entrar ou sair da via principal, minimizando interferências no tráfego principal. Dessa forma, facilitam as mudanças de velocidade dos veículos entre a via principal e suas entradas e saídas. Fornecem aos veículos que trafegam na via principal tempo e distância suficientes para fazer ajustes na velocidade e no posicionamento, quando necessário, para permitir a entrada dos novos veículos e para minimizar perturbações e o potencial de ocorrência de conflitos	Sem informações
5 Usuários vulneráveis			
<i>Caminhamento longitudinal</i>			
5.3	Afastamento dos usuários	Recomenda-se, prioritariamente, a adoção de medidas de afastamento de pedestres e ciclistas dos veículos motorizados, como a implantação de áreas de circulação para usuários vulneráveis (calçadas ou ciclovias) afastadas da faixa de tráfego. O afastamento deve ser o máximo possível e de acordo com a velocidade da rodovia. As calçadas devem ser contínuas e acessíveis a todos, incluindo os grupos de pedestres mais vulneráveis (idosos, crianças, PcDs etc.).	Calçadas: 40% a 60% (1) 65% a 89% (2) Mais de 30% (3) Ciclovia ou ciclofaixa: 25% a 40% (1) Até 30% (3)
5.4	Separação física e proteção dos usuários vulneráveis	Caso não seja possível fornecer afastamento suficiente para garantir a segurança dos usuários vulneráveis, recomenda-se a implantação de áreas de circulação separadas e dedicadas, como passeios, calçadas e ciclovias, protegidas do fluxo de veículos motorizados por barreiras de contenção.	Barreiras laterais: 40% a 60% (1) Mais de 30% (2)



Contra medida	Descrição	Efetividade	
5.5	Compartilhamento da rodovia	Nos casos de travessia de trechos urbanizados (tipo III), pode ocorrer o compartilhamento da via entre veículos motorizados e usuários vulneráveis nas laterais da pista, com pedestres e ciclistas utilizando acostamentos ou calçadas para circulação. Neste caso devem ser adotadas medidas moderadoras de tráfego (<i>traffic calming</i>).	Medidas moderadoras de tráfego: 25% a 40% (1) (2) Mais de 30% (3)
<i>Cruzamento de usuários vulneráveis na rodovia</i>			
5.6	Faixas de pedestres	Faixas zebradas implantadas em locais com alta demanda de cruzamento de pedestres, em travessias urbanas do tipo III. Devem ser utilizadas somente em locais com baixo volume de tráfego e velocidade baixa e controlada (com controle eletrônico ou físico). Além disso, sempre devem ser associadas a outras medidas moderadoras de tráfego.	25% a 40% (1) Mais de 30% (3)
5.7	Controle de velocidade (lombada, lombada eletrônica, lombofaixas)	Auxilia na redução de velocidade e na fiscalização de trânsito. Tem uma atuação pontual, utilizada quando há demanda de travessia de pedestres. Deve ser utilizada junto à sinalização adequada, especialmente com indicação da velocidade regulamentada.	25% a 40% (1)
5.8	Restringir pontos de acesso (barreiras de contenção, gradis/telamento)	Embora o acesso seja uma parte importante da função rodoviária, pode haver algumas rodovias onde os cruzamentos de pedestres tornam-se um problema de Segurança Viária. Para esses locais, pode ser necessário restringir os pontos de travessia por meio da implantação de dispositivos de contenção lateral, gradis ou telamento, direcionando os pedestres e ciclistas para locais seguros de travessia.	25% a 40% (1)
5.9	Refúgio central	Reduz a distância de travessia dos usuários vulneráveis e cria uma área para refúgio central de pedestres, que permite a travessia em duas etapas. Evita conversões à esquerda proibidas e ultrapassagens. Pode reduzir a largura das faixas e, conseqüentemente, a velocidade do tráfego.	25% a 40% (1)



	Contramedida	Descrição	Efetividade
5.10	Melhoria das condições de visibilidade para usuários vulneráveis	O projeto de rodovia segura deve garantir que as configurações geométricas e as características do entorno não causem limitações visuais aos usuários vulneráveis. Objetos que obstruem a visão dos usuários devem ser removidos.	25% a 40% (1)
5.11	Iluminação	Recomendada em travessias de pedestres, como em cruzamentos em nível, travessias urbanas, cruzamentos em desnível e locais com alta ocorrência de atropelamentos.	10% a 25% (1) 28% a 42% (2)
5.12	Sinalização de advertência	Alertar os usuários sobre a circulação e/ou travessia de pedestres ou escolares à frente. Pode ter implantação associada à iluminação direcional do local de travessia.	10% a 25% (1)
5.13	Passarela ou passagem subterrânea	Em situações em que há demanda de cruzamento de pedestres, especialmente em rodovias de classe 0 e 1A, pode ser usada uma travessia de pedestres com separação de nível, como uma passagem superior (passarela) ou uma passagem subterrânea.	60% ou mais (1)

(1) Toolkit - IRAP; **(2)** Making Our Roads Safer - FWHA; e **(3)** Guide for Road Safety Interventions - Banco Mundial.

Fonte: elaborado pelo autor com base em [7], [10], [11]

Além disso, há contramedidas que incluem outros pilares do Sistema Seguro, como a educação, fiscalização, cuidado pós-acidentes, além de veículos mais seguros.

13.2.2.1 Referências de contramedidas com eficácia comprovada

Além das informações apresentadas no Quadro 13.1, existem diversas fontes confiáveis para verificar quais as contramedidas mais eficazes e a expectativa de redução de acidentes. Tradicionalmente, os métodos utilizam os Fatores de Modificação de Acidentes (em inglês, *Crash Modification Factors* — CMFs) para avaliar os benefícios encontrados.

BOX 1

CRASH MODIFICATION FACTOR (CMF)



Conhecer os benefícios de cada tratamento para a Segurança Viária é fundamental para o processo de seleção de contramedidas. O benefício é geralmente descrito por um fator de redução de acidentes. Os analistas podem usar os CMFs para estimar as mudanças na ocorrência ou severidade dos acidentes associadas a uma determinada contramedida, além de permitir a comparação do desempenho da segurança das alternativas no que diz respeito ao planejamento, aos elementos de projeto e aos dispositivos de controle de tráfego [2].

O CMF é um fator multiplicativo que indica a mudança esperada nos acidentes associada a uma contramedida. Valores de CMF igual a 1,0 indicam que não existe uma alteração esperada nos acidentes associados ao local ou segmento específico. Valores menores do que 1,0 se referem a uma redução esperada no número de acidentes, e valores maiores do que 1,0, um aumento nos acidentes esperados [3]. Detalhes sobre o cálculo dos CMFs podem ser encontrados no “Capítulo 15 — Modelo para previsão de acidentes”.

Existem diferentes fontes que apresentam informações sobre os CMFs. A *CMF Clearinghouse* [12], fundada pela *Federal Highway Administration* (FHWA), é uma das fontes de informação mais abrangentes, avançadas e atualizadas sobre a efetividade das contramedidas de Segurança Viária. Essa referência aplica uma classificação por estrelas (de um a cinco) de acordo com a robustez de cada CMF, sendo baseada no projeto em estudo, no tamanho da amostra, no erro padrão, em possíveis vieses e nas fontes de dados [2].

Diversos guias apresentam recomendações de contramedidas eficazes para resolver problemas específicos de acidentes. Alguns guias fornecem discussões sobre o processo de seleção de contramedidas, enquanto outras ferramentas se relacionam com componentes específicos do processo. Existem ferramentas online que fornecem informações mais detalhadas sobre as contramedidas possíveis conforme o tipo de acidente ou problema rodoviário. Entre todas essas referências, podem ser destacadas:

- (1) *Road Safety Toolkit*, desenvolvido pelo iRAP [10]: composto por um guia completo de opções de tratamentos adequados a diferentes problemas de segurança rodoviária, constantemente atualizado e revisado. Inclui informações detalhadas sobre os tipos de acidentes e soluções de tratamento, com indicativos de custos, benefícios para a segurança, questões de implementação, referências e *links* para documentos de projetos relevantes.
- (2) *Report 500*, do *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) [13]: conta com 22 volumes que ajudam a identificar contramedidas apropriadas para um determinado problema de Segurança Viária.
- (3) *Guide for Road Safety Interventions: Evidence of What Works and What Does Not Work*, do Banco Mundial [7]: apresenta uma seleção das contramedidas mais comumente utilizadas em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, bem como uma lista dos tratamentos ineficazes, que podem inclusive aumentar a ocorrência e/ou a severidade dos acidentes.
- (4) *Making our Roads Safer: One Contrameasure at a Time*, da *Federal Highway Administration* (FHWA) [11]: dispõe de 28 contramedidas com eficácia comprovada que oferecem impactos significativos e mensuráveis para melhorar a Segurança Viária em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos.
- (5) *Roadway Safety Data and Analysis Toolbox*, da *Federal Highway Administration* (FHWA) [14]: é um repositório de dados de segurança e ferramentas de análise disponíveis online [3].
- (6) *Highway Safety Manual Volume 3: Part D*, da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) [2]: apresenta os CMFs de acordo com as expectativas de mudança no número de acidentes resultantes de alterações em elementos geométricos ou operacionais da rodovia.
- (7) *The Handbook of Road Safety Measures* [9]: é um manual que apresenta informações extensas sobre 128 medidas de Segurança Viária, incluindo as relacionadas com projeto, manutenção, controle de tráfego, veículos, treinamento de motoristas, educação, fiscalização de trânsito e cuidado pós-acidente. Uma abordagem rigorosa é utilizada para selecionar os estudos ao redor do mundo e calcular os benefícios das medidas, com ênfase em pesquisas europeias [2].

- (8) *Road Safety Manual*, da PIARC [2]: apresenta as contramedidas mais eficazes e quando devem ser utilizadas de acordo com o tipo de acidente e indicativos de custo. Também recomenda a implementação de projetos piloto multidisciplinares (como programas de educação e fiscalização) nos principais segmentos identificados com alto risco de acidentes.
- (9) *Catalogue of design safety problems and potential countermeasures*, da PIARC [15]: conta com potenciais contramedidas para problemas de Segurança Viária. São feitas recomendações de acordo com a classe da rodovia, seção transversal, alinhamento, interseções, usuários vulneráveis, sinalização vertical e horizontal e características das laterais da rodovia.
- (10) *The Role of Road Engineering in Combatting Driver Distraction and Fatigue Road Safety Risks* [16] e *Vulnerable road user: Diagnosis of design and operational safety problems and potential countermeasures and appendix* [17]: apresentam recomendações conforme a abordagem de hierarquia de tratamento e fornecem soluções de engenharia para riscos devido à distração e fadiga dos motoristas e questões especiais para usuários vulneráveis. Em cada tópico são fornecidas informações sobre o problema de segurança na rodovia e os tipos de tratamento possíveis. As informações referem-se a fotografias, descrições, indicativos de custos, tipos de acidentes e grupos de usuários afetados [2].
- (11) Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo, do DNER [18]: é uma referência nacional, de 1998, que apresenta possíveis soluções de baixo custo e para redução dos acidentes para dezoto situações de problemas típicos.

13.2.2.2 Considerações sobre a seleção de contramedidas

Os estudos que apresentam os resultados da efetividade da implementação de contramedidas foram aplicados, em sua maioria, em rodovias de países desenvolvidos. Nesse sentido, é importante ressaltar que não podem ser esperados os mesmos resultados para países subdesenvolvidos e em desenvolvimento [2]. Mesmo em países com a mesma condição econômica, a implantação de uma contramedida pode apresentar resultados diferentes dos identificados nos locais de estudo, devido a questões culturais

e comportamentais. Além disso, muitos resultados relatados referem-se à efetividade máxima da contramedida implantada.

Existem diversos elementos relacionados ao contexto e ao ambiente rodoviário que podem influenciar na redução dos acidentes, impactando esses resultados de forma mais crítica em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento [19]. Entender essas questões é fundamental para o sucesso da implantação de contramedidas nas rodovias.

Algumas questões que afetam a implantação e a efetividade das contramedidas são: custo, questões de projeto e implementação, aceitação dos usuários e manutenção [2]. Para as contramedidas com expectativas de resultados mais efetivos, os custos não são um problema significativo. Questões de conformidade de projeto e implementação das contramedidas são mais relevantes. Algumas contramedidas necessitam que os usuários aceitem alterações de regras e desenvolvam um comportamento seguro. Nesses casos, as soluções sempre devem ser implantadas junto a ações de fiscalização e educação. Apesar do cumprimento das contramedidas ser uma questão de responsabilidade multidisciplinar para a Segurança Viária, é importante reforçar que sistemas seguros antevêm e atuam para evitar acidentes mesmo que os usuários falhem [2].

O projeto e a implantação são essenciais para a eficácia do tratamento. Se a contramedida não for bem projetada e a instalação não respeitar os padrões estipulados, os resultados serão comprometidos. Por isso, é importante aumentar as habilidades e a capacidade da equipe envolvida no projeto, na implantação e na operação da contramedida implantada, incluindo o conhecimento acerca de boas práticas nacionais e internacionais.

A manutenção também é uma questão importante para que os resultados das contramedidas implantadas sejam efetivos. É comum que os tratamentos se deteriorem e se tornem menos seguros com o passar do tempo (ou possivelmente sejam de maior risco do que se o tratamento não estivesse presente). É preciso ter um financiamento apropriado para garantir a manutenção das contramedidas implantadas, além de ser necessário um treinamento adequado para realizar a manutenção [2].

Essas questões, ainda que existentes em países desenvolvidos, são mais pronunciadas em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos e são capazes de

comprometer a eficácia dos tratamentos, uma vez que os resultados esperados podem não ser alcançados. Dessa forma, os resultados esperados para a redução de acidentes encontrados em estudos em países desenvolvidos devem servir como ponto de partida para a seleção de contramedidas e as questões acima discutidas devem ser consideradas com cautela, sendo incentivada a realização de revisões sobre os benefícios esperados. A longo prazo, espera-se que existam mais estudos e informações sobre a implantação de contramedidas em rodovias brasileiras. Para tanto, devem ser realizados, adequadamente, o monitoramento, a análise e a avaliação dos acidentes e das contramedidas implementadas [2].

Além disso, muitos tratamentos de segurança podem apresentar números residuais de acidentes graves e, portanto, requerem melhorias nos tratamentos já conhecidos. Isso pode ocorrer quando são realizadas alterações nas contramedidas, que, quando aplicadas em novas situações, precisam ser adaptadas para alcançar melhores resultados, caso contrário resultam na perda de efetividade. Assim, há a necessidade de autoridades rodoviárias e de organizações de apoio inovarem e adotarem novas abordagens, baseadas em evidências e em experiências de contramedidas já implantadas em outros locais [2].

Sugere-se que seja feita uma abordagem metodológica para a inovação, delineada nos seguintes passos [2]:

- (1) Entender o problema: identificar o tipo de acidente, os usuários da rodovia e os locais que necessitam de melhoria.
- (2) Identificar as soluções possíveis: soluções implantadas em outros locais do país ou em outros países, ou soluções que possam ser adaptadas para um tratamento existente.
- (3) Avaliar a solução: analisar se as contramedidas de fato estão trazendo benefícios para a redução do número de mortos e feridos graves e para os demais objetivos de políticas de Segurança Viária, baseando-se em guias e experiências nacionais e internacionais. Ferramentas como simuladores de direção e testes em ambientes controlados podem auxiliar na determinação dos efeitos dos tratamentos.
- (4) Testar a solução escolhida: aplicar um projeto piloto a fim de verificar a eficácia da contramedida em um contexto específico e em um ambiente

controlado. Essa etapa auxilia na preparação para a implantação de intervenções mais amplas.

- (5) Monitorar, analisar e avaliar a solução escolhida: garantir que os resultados estejam de acordo com o esperado e que não haja efeitos adversos para a segurança de nenhum usuário da rodovia. Pode envolver uma avaliação benefício-custo de novos tratamentos, especialmente ao comparar com a situação existente.
- (6) Ampliar a área de implantação: seguir com o monitoramento e a avaliação de contramedidas, incluindo a análise de dados de acidentes, até que a coleta de dados seja suficiente e representativa dos resultados. Incluir as informações sobre o projeto e os dados da operação em documentos que buscam orientar futuras implantações.
- (7) Compartilhar os resultados: se a contramedida implantada for efetiva, é importante apresentá-la a outras pessoas da área. Se a contramedida não produzir resultados desejados, também é importante reportar seus efeitos à comunidade.

Portanto, gestores e projetistas devem ser cautelosos na seleção de contramedidas, de forma a garantir que a escolha do tratamento seja baseada em critérios rigorosos e que o tratamento escolhido apresente benefícios para a Segurança Viária [2]. Além disso, é preciso que as contramedidas selecionadas sejam adequadas para tratar os riscos existentes no local, ou seja, devem ser efetivas para mitigar ou eliminar os fatores de risco e/ou fatores contribuintes para os acidentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Highway Safety Manual**. 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2010
- [2] World Road Association (PIARC). **Road Safety Manual: A Guide for Practitioners!** França, 2019
- [3] BAHAR, G.; SRINIVASAN, R.; GROSS, F. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **Reliability of Safety Management Methods. Countermeasure Selection**. Estados Unidos, ago. 2016
- [4] TIWARI, G.; MOHAN, D. **Transport Planning and Traffic Safety: Making Cities, Roads, and Vehicles Safer**. CRC Press, 2016
- [5] ÁFRICA, African Development Bank; Transport and ICT Department (OITC). **Road Safety Manuals for Africa: New Roads and Schemes: Road Safety Audit**. Tunísia-Belvedere, África, 2014
- [6] AUSTRÁLIA, Austroads. **Guide to Road Safety Part 6: Road Safety Audit**. Sydney, Austrália, 2022. Disponível em: <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-R421-12>. Acesso em: 3 out. 2022
- [7] ESTADOS UNIDOS, Global Road Safety Facility; World Bank. **Guide for Road Safety Interventions: Evidence of What Works and What Does Not Work**. Washington, DC., Estados Unidos, 2021
- [8] TURNER, B. et al. **Safe System Infrastructure: National Roundtable Report**. ARRB Group Ltd. Australia, 2009
- [9] ELVIK, Rune et al. **The Handbook of Road Safety Measures**. 2ª edição. Reino Unido, 2009
- [10] International Road Assessment Programme (iRAP). **Road Safety Toolkit**. Disponível em: <https://toolkit.irap.org/>. Acesso em: 27 abr. 2023
- [11] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **Making our Roads Safer: One Countermeasure at a Time**. Estados Unidos, 2021
- [12] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **Crash Modification Factors Clearinghouse**. Disponível em: <http://www.cmfclearinghouse.org/index.cfm>. Acesso em: 24 fev. 2022
- [13] ESTADOS UNIDOS, Transportation Research Board (TRB). **NCHRP Report 500: Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan**. Disponível em: <http://www.trb.org/Main/Blurbs/152868.aspx>. Acesso em: 7 abr. 2023

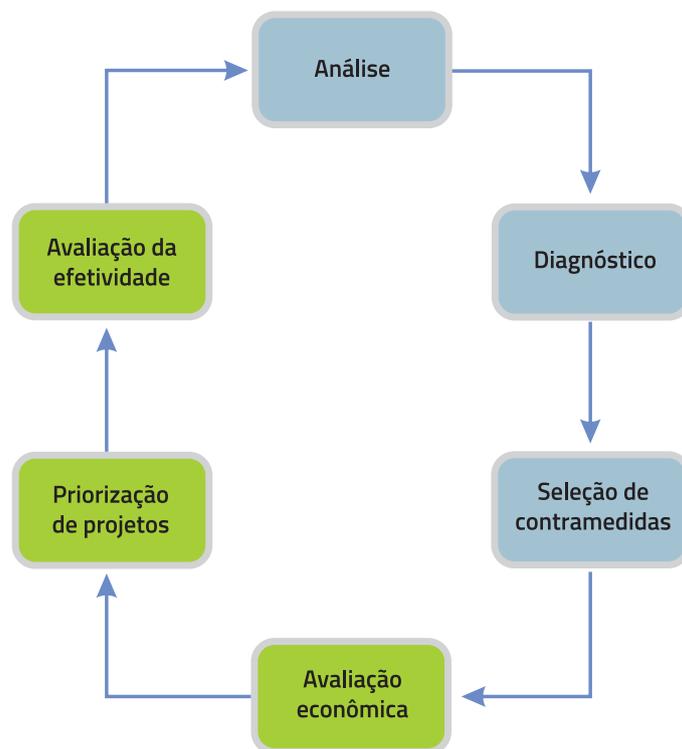
- [14] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **Roadway Safety Data and Analysis Toolbox**. Disponível em: <https://safety.fhwa.dot.gov/rsdp/toolbox-home.aspx>. Acesso em: 27 abr. 2023
- [15] World Road Association (PIARC). **PIARC Catalogue of Design Safety Problems and Potential Countermeasures**. França, 2009
- [16] World Road Association (PIARC). **The Role of Road Engineering in Combatting Driver Distraction and Fatigue Road Safety Risks**. França, 2016
- [17] World Road Association (PIARC). **Vulnerable Road User: Diagnosis of design and operational safety problems and potential countermeasures**. França, 2017
- [18] BRASIL, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo**. Rio de Janeiro, Brasil, 1998
- [19] Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), International Transport Forum (ITF). **Sharing Road Safety: Developing an International Framework for Crash Modification Functions**. Paris, França, 2012

CAPÍTULO



AVALIAÇÃO ECONÔMICA E MONITORAMENTO DE PROJETOS IMPLANTADOS

A avaliação econômica é uma das etapas do processo de Gerenciamento da Segurança Viária introduzido no “Capítulo 2 — Caráter multidisciplinar da Segurança Viária”. Como ilustra a Figura 14.1, essa etapa deve ser realizada após a seleção de contramedidas, abordada no “Capítulo 13 — Seleção de contramedidas”, e deve ser complementada com a priorização de projetos, apresentada no item “14.2 — Métodos de priorização”, deste Capítulo.

Figura 14.1: Etapas do Gerenciamento da Segurança Viária

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1]

As etapas de avaliação econômica e priorização de projetos, juntamente com o diagnóstico dos locais críticos e a seleção de contramedidas, podem ser entendidas como um estágio de planejamento no processo de Gerenciamento da Segurança Viária. Dessa forma, devem ser realizadas com o objetivo de selecionar projetos de Segurança Viária a serem implantados em um local específico ou em uma rede viária.

A partir das informações obtidas nas etapas de análise e diagnóstico, é realizado o levantamento das contramedidas existentes para o tratamento de cada ponto ou segmento crítico ou de toda a rodovia. A avaliação econômica considera todas as contramedidas identificadas e avalia quais são os projetos economicamente justificáveis — em termos de custos e benefícios esperados (como a redução da frequência e/ou severidade de acidentes) — e, conseqüentemente, elegíveis para o local. Na etapa de priorização de projetos, é realizado um ranqueamento dos projetos elegíveis, para auxiliar na tomada de decisão sobre as contramedidas que devem ser implantadas.

Os projetos de Segurança Viária devem ser propostos a partir das contramedidas selecionadas e podem abranger uma única contramedida ou um conjunto de contramedidas. A implantação de uma rotatória, por exemplo, corresponde a um projeto de Segurança Viária que compreende uma única contramedida. Já a implantação de uma rotatória com iluminação é um exemplo de projeto de Segurança Viária que engloba um conjunto de contramedidas.

Vale ressaltar que o Gerenciamento da Segurança Viária é um processo circular: são analisados dados de acidentes com o objetivo de determinar locais críticos e implementar contramedidas; a partir do monitoramento dos resultados dos projetos implantados, são selecionados novos locais críticos e novas contramedidas, que podem ser implementadas com base no aprendizado de experiências anteriores.

Além das etapas do Gerenciamento da Segurança Viária descritas anteriormente, deve-se realizar o monitoramento dos projetos implantados (descrito no item “14.3 — Monitoramento de projetos implantados”), que inclui a avaliação da efetividade e inspeções de campo. A avaliação da efetividade é realizada com o objetivo de verificar se os projetos implantados apresentaram o efeito esperado na redução da frequência e/ou da severidade de acidentes. As inspeções de campo, por sua vez, são realizadas para verificar as condições físicas dos elementos de Segurança Viária implementados e identificar a necessidade de reparos ou substituições, conforme destacado em “14.3.2 — Inspeção e manutenção das contramedidas implementadas”.

Este capítulo está dividido em três partes, abordando três etapas do processo de Gerenciamento da Segurança Viária, sendo elas: (i) avaliação econômica dos projetos de Segurança Viária, (ii) priorização de projetos e (iii) monitoramento de projetos implantados. São apresentados os principais métodos utilizados em cada uma dessas etapas.

14.1 Avaliação econômica

A avaliação econômica é realizada pela comparação entre benefícios e custos decorrentes da implantação de um projeto de Segurança Viária. Há dois objetivos principais nesta etapa:

- (1) Determinar se um projeto é economicamente justificável do ponto de vista da segurança (ou seja, se seus benefícios econômicos e sociais são maiores que seus custos) e estipular seu período de retorno.
- (2) Subsidiar a escolha do projeto a ser implementado, a partir da determinação daquele que é mais eficiente economicamente, isto é, que apresenta melhor relação entre benefício e custo.

Implementar melhorias em segmentos críticos resulta em benefícios primários, como a diminuição da ocorrência e da severidade de acidentes, e benefícios secundários, como a redução de custos operacionais e do tempo de percurso [2]. Assim, os benefícios econômicos, advindos de uma única contramedida ou de um conjunto de contramedidas, podem ser estimados em termos de benefícios primários, secundários ou ambos.

Os custos do projeto incluem custos de implantação e manutenção e devem ser estimados, principalmente, para definição do investimento necessário, com vistas a avaliar disponibilidades orçamentárias [2].

Para a avaliação econômica de um projeto de Segurança Viária, compara-se os custos estimados aos benefícios econômicos esperados, sejam eles primários ou secundários. As metodologias usualmente utilizadas, para estimar benefícios e custos de um projeto, são apresentadas na sequência. Antes, todavia, é importante atentar para o período de análise.

O período no qual deve ser realizada a avaliação econômica é o período de vida útil do projeto, ou seja, o tempo em que as contramedidas consideradas proporcionam benefícios de segurança. Determinar a vida útil de um projeto não é algo trivial. Esse tempo pode variar com [3]:

- tipo e escopo do projeto;
- condições climáticas (que podem causar a deterioração da infraestrutura);
- volumes de tráfego (volumes elevados podem causar maior deterioração da infraestrutura e o aumento do volume de tráfego pode resultar na necessidade de alterações na infraestrutura da via);
- padrões locais (requisitos de construção e manutenção mais rigorosos podem resultar em deterioração mais lenta);
- disponibilidade de recursos e materiais (certos materiais são mais resistentes à deterioração).

Caso seja considerado implantar mais de uma contramedida em um mesmo local ou segmento viário, sugere-se realizar a análise econômica no período referente à vida útil mais longa [3]. O Quadro 14.1 apresenta a vida útil média estimada de alguns grupos de contramedidas.

Quadro 14.1: Vida útil média de contramedidas de segurança

Grupo de contramedida	Vida útil
Melhorias de infraestrutura viária	25 anos
Sinalização vertical, pequenas melhorias nas vias	10 anos
Recapeamento e novos pavimentos	5-10 anos (dependendo do volume e composição de tráfego e do horizonte de projeto)
Marcações viárias (sinalização horizontal)	1-5 anos (dependendo do volume de tráfego)
Campanhas de informação	1 ano
Fiscalização de trânsito	1 ano

Fonte: adaptado de [4]

Existem diferentes métodos que podem ser utilizados para realizar uma avaliação econômica, abordados com detalhes no item “14.1.3 — Indicadores de avaliação econômica”. Entre esses métodos, destacam-se a análise de benefício-custo e a análise de efetividade-custo. Ambas quantificam os benefícios esperados ao expressar

a mudança estimada na frequência ou na severidade dos acidentes como resultado da implementação do projeto de Segurança Viária analisado. A diferença, no entanto, é que, na análise de benefício-custo, a mudança esperada **é convertida em valores monetários**, que posteriormente são comparados aos custos estimados do projeto. Já na análise de efetividade-custo, a mudança esperada **não é convertida em valores monetários**. Nesse caso, a estimativa da mudança na frequência ou na severidade de acidentes é comparada aos custos associados à implementação do projeto. Assim, é determinado um índice de efetividade-custo, expresso em custo por acidente evitado no período de análise, o qual relaciona o valor desembolsado para a implantação do projeto com a quantidade de acidentes que se espera reduzir [1].

Projetos de Segurança Viária também podem ser avaliados por meio de indicadores econômicos, como a taxa interna de retorno (TIR) e o período de retorno (*payback*). A TIR é particularmente importante para avaliar a atratividade do projeto do ponto de vista dos investidores, que comparam essa taxa a uma taxa mínima de atratividade para decidir se vale a pena, ou não, investir em determinado projeto. Já o período de retorno é um importante parâmetro para tomadores de decisão, sendo utilizado para indicar em quanto tempo um investimento se paga.

A despeito do método escolhido para realizar a avaliação econômica, há dois passos iniciais que devem ser executados:

- (1) Estimar os custos de implementação, manutenção e operação do projeto e prever os desembolsos ao longo do tempo (fluxo de caixa).
- (2) Estimar os benefícios esperados a partir da implementação do projeto, determinando a redução na frequência e/ou severidade dos acidentes ao longo do tempo.

Para comparar os valores estimados em termos monetários ao longo do período de análise, deve-se utilizar os valores presentes dos benefícios e dos custos dos projetos de Segurança Viária. A comparação dos benefícios e custos, em diferentes períodos, se torna mais realista com a utilização de valores presentes, possibilitando uma avaliação econômica mais confiável.

BOX 1

VALOR PRESENTE (VP)



Para comparar os custos e os benefícios da implementação de um projeto de Segurança Viária, deve-se levar em consideração alguns conceitos de matemática financeira.

É importante lembrar que o capital varia ao longo do tempo, ou seja, 100 reais hoje não valem o mesmo que 100 reais daqui a um ano. Por isso, um conceito essencial para realizar uma avaliação econômica é o cálculo de valor presente (VP), o qual permite comparar valores em uma mesma data (normalmente, a data 0 do ciclo de vida de um projeto), levando em consideração as variações que podem ocorrer ao longo do tempo. Assim, o valor presente nada mais é que o valor de um montante do futuro trazido para o momento atual, possibilitando uma análise mais realista do fluxo de caixa de um investimento.

O VP é calculado pela Equação 14.1:

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^t} \quad \text{Eq. 14.1}$$

Onde:

VP = valor do capital na data presente;

VF = valor do capital na data futura;

i = taxa de desconto;

t = número de períodos entre as datas presente e futura.

No cálculo do valor presente — dos custos ou dos benefícios —, o fluxo de capital é descontado a uma taxa de desconto. Essa taxa (também chamada de taxa mínima de atratividade) é o custo de oportunidade do projeto que está sendo analisado e deve ser previamente estabelecida de acordo com o risco de implementação do projeto.

Dessa maneira, o valor presente é fortemente influenciado pela escolha da taxa de desconto e cresce ou diminui de forma inversamente proporcional à taxa.

Destaca-se a importância de validar as avaliações econômicas realizadas por meio da análise de sensibilidade apresentada no item “14.1.4 — Análise de sensibilidade”. Além disso, pode ser relevante considerar aspectos não monetários capazes de influenciar os resultados das avaliações econômicas.

Em um contexto de financiamento limitado, é interessante avaliar o projeto que trará o maior retorno econômico. A avaliação econômica pode ser aplicada, inclusive, para justificar a implementação de projetos de Segurança Viária de maior custo, reforçando os benefícios econômicos e sociais. No entanto, como o objetivo principal da seleção de um projeto é reduzir a ocorrência de acidentes e/ou sua severidade, pode haver casos em que se opte por implementar um projeto, mesmo que ele não apresente a melhor avaliação econômica. Sendo assim, um projeto que apresentar custo significativamente maior, quando comparado a alternativas, pode ser escolhido, tendo em vista os maiores benefícios à Segurança Viária.

14.1.1 *Estimativa dos benefícios*

A implantação de um projeto, de uma ou mais contramedidas, pode resultar em diversos benefícios, que contribuem para a redução da ocorrência ou da severidade dos acidentes, mas também podem reduzir o tempo de viagem e os níveis de congestionamento e de poluição do ar, além de melhorar a fluidez, diminuir o ruído e gerar outros benefícios socioambientais.

Neste manual, serão estimados os benefícios decorrentes da diminuição da frequência e da severidade dos acidentes, uma vez que essa é a principal forma de analisar o desempenho da Segurança Viária. Todos os indicadores descritos neste Manual também podem ser aplicados caso a análise inclua outros benefícios, basta que esses sejam monetizados e adicionados ao cálculo do benefício advindo da redução de acidentes. A ANTP [5] apresenta um guia para o cálculo dessas externalidades.

A redução da frequência ou severidade de acidentes é estimada com base no histórico de projetos similares. Para isso, são utilizadas informações a respeito da efetividade de projetos anteriormente implementados¹. No “Capítulo 13 — Seleção de contramedidas” é apresentada uma lista de contramedidas com suas efetividades associadas. O Manual de Medidas de Segurança Viária [4] e o iRAP *Road Safety Toolkit* [6],

¹ Em países em desenvolvimento, como o Brasil, é provável que haja pouca informação disponível sobre a efetividade de contramedidas implementadas. Pode-se, então, utilizar informações de outros países, realizando adaptações para o local em análise.

por sua vez, são duas importantes referências internacionais com dados sobre a efetividade de projetos de engenharia para Segurança Viária.

BOX 2**MÉTODO PREDITIVO DO *HIGHWAY SAFETY MANUAL* (HSM)**

Uma forma de estimar a redução na frequência e na severidade de acidentes e, assim, possibilitar a comparação de diferentes contramedidas, é o emprego do método preditivo do HSM [1]. Esse método é pouco utilizado atualmente no Brasil, por ser um método que demanda grande disponibilidade de dados para sua aplicação. Contudo, as estimativas alcançadas com o método preditivo são bastante precisas.

O método preditivo do *Highway Safety Manual* é apresentado no “Capítulo 15 — Modelo para previsão de acidentes”, no qual é explicado como estimar a variação da frequência de acidentes com a implantação de uma contramedida ou de um conjunto de contramedidas.

A avaliação econômica, a partir de metodologias que consideram os benefícios em termos monetários, exige que a redução estimada na frequência de acidentes seja convertida em valores monetários. Para isso, o DER/SP considera que os benefícios advindos da redução na frequência de acidentes, em termos monetários, estão relacionados ao custo do acidente e utiliza a metodologia proposta pelo IPEA para estimar o custo social dos acidentes [7]. Nessa metodologia, os custos dos acidentes são determinados a partir de quatro componentes, conforme apresentado no “Capítulo 3 — Acidentalidade”, sendo eles: pessoas, veículos, vias (e meio ambiente onde ocorreu o acidente) e instituições públicas envolvidas (judiciais e de atendimento).

Os benefícios anuais de um projeto de contramedidas são estimados multiplicando o número de acidentes que devem ser evitados, a partir da implementação do projeto, pelo custo social da redução desses acidentes. Dessa forma, a estimativa da variação da frequência de acidentes é primeiramente convertida em valores monetários e, em seguida, esses valores são convertidos a valores presentes.

Recomenda-se realizar o cálculo por nível de severidade do acidente (vítimas com ferimentos leves, vítimas com ferimentos graves ou vítimas fatais), de modo a aumentar a precisão dos resultados. Para isso, é necessário conhecer o valor monetário dos acidentes por severidade (ou seja, acidentes fatais, acidentes com lesões graves ou

leves, acidentes apenas com danos materiais) e, também, a variação da severidade nas estimativas de ocorrência de acidentes [1].

Outro método que pode ser utilizado para estimar os benefícios de um projeto de contramedidas, em termos monetários, é por meio do Valor Estatístico da Vida (VEV), que pode ser definido como o valor que a sociedade atribui à melhoria de segurança — valor que a sociedade está disposta a investir para reduzir o risco de perda de vidas no trânsito [8]. Nesse caso, supõe-se que todos os custos envolvidos, inclusive custos subjetivos, estão inclusos na disposição a pagar.

Uma forma de estimar o Valor Estatístico da Vida é por meio da metodologia utilizada pelo iRAP em diversos países, inclusive no Brasil, na qual o VEV é determinado a partir da multiplicação do PIB per capita por 70 (com um intervalo entre 60 e 80 para análises de sensibilidade), como indicado na Equação 14.2. A análise do iRAP também fornece um método para calcular o número de lesões graves em um país [8].

$$\text{VEV} = 70 \times \text{PIB}_{\text{per capita}} \quad \text{Eq. 14.2}$$

A estimativa dos benefícios utilizando o VEV produz resultados significativamente maiores que o método dos custos sociais, que tende a subestimar o impacto real de um acidente. Isso ocorre, pois o método dos custos sociais se concentra nos impactos econômicos, enquanto o VEV considera fatores subjetivos não mensuráveis [8].

14.1.2 *Estimativa dos custos*

Os custos de um projeto são únicos para cada localidade e cada contramedida, pois dependem de diferentes fatores. Para facilitar o cálculo, os custos do projeto devem ser divididos em custos de implantação e custos de manutenção.

O custo de implantação, de uma contramedida ou de um conjunto de contramedidas, pode englobar uma variedade de fatores, como desapropriação, nivelamento e terraplenagem, materiais e equipamentos de construção, mão de obra, proteção ambiental e outros custos, incluindo qualquer atividade de planejamento e projeto realizada antes ou durante a obra.

Os custos de implantação podem ser decompostos considerando duas fases: custos antes da execução da obra e custos durante a obra. O Quadro 14.2 descreve os custos de implantação de contramedidas envolvidos em cada fase da obra.

Quadro 14.2: Custos de implantação de contramedidas

Fase da obra	Tipo de custo
Antes da obra	Custos de desapropriação (eventual)
	Custos de projeto:
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ equipe necessária para o projeto; ▪ relação do percentual do custo de administração central; ▪ instalações necessárias (suas localizações e aluguéis prováveis).
Durante a obra	Custos de nivelamento e terraplenagem
	Custos de mão de obra
	Custos de supervisão:
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ acompanhamento e fiscalização da execução dos serviços previstos; ▪ complemento da fiscalização a cargo do DER/SP; ▪ instalações correspondentes a laboratórios e escritórios, além da equipe técnica habilitada e de todo o equipamento necessário.
	Custos de material
	Custos de equipamentos
	Custos de proteção ambiental

Fonte: elaborado pelo autor com base em [9]

As Tabelas de Preços Unitários (TPU) do DER/SP, fornecem informações detalhadas sobre o custo unitário de materiais e mão de obra necessários à execução da obra. Com isso, é possível elaborar o Resumo do Orçamento e o Demonstrativo de Orçamento, onde são indicados, para cada item de serviço, o custo unitário, os quantitativos correspondentes e os custos finais [2].

Custos de manutenção, por sua vez, referem-se a custos anuais de manutenção e operação rotineiros. O nível e a regularidade da manutenção, assim como, os custos de operação associados, dependem das contramedidas adotadas [3]. Nesses casos, o Sistema de Administração da Conservação (SAC) do DER/SP fornece parâmetros para definir necessidades, estabelecer critérios e programas de trabalho, otimizar recursos disponíveis, elaborar e revisar orçamentos, determinar custos e avaliar o desempenho de manutenções realizadas [10].

Os custos na fase de pré-projeto, costumam ser determinados por meio de um preço médio por quilômetro ou por local de intervenção. Isso porque a avaliação econômica e, conseqüentemente, a comparação entre custos e benefícios, é realizada em uma fase de planejamento para a escolha de uma alternativa, antes mesmo de existir um projeto detalhado a partir do qual possam ser determinados os custos.

Os custos da implantação de um projeto, assim como os custos de manutenção, sempre devem ser convertidos a valores presentes, para que possam ser comparados aos seus benefícios. Normalmente, o principal impacto econômico e financeiro advém dos custos de implantação, que apresentam valores mais elevados que os custos de manutenção e são desembolsados no início do período considerado, tendo grande impacto no fluxo financeiro.

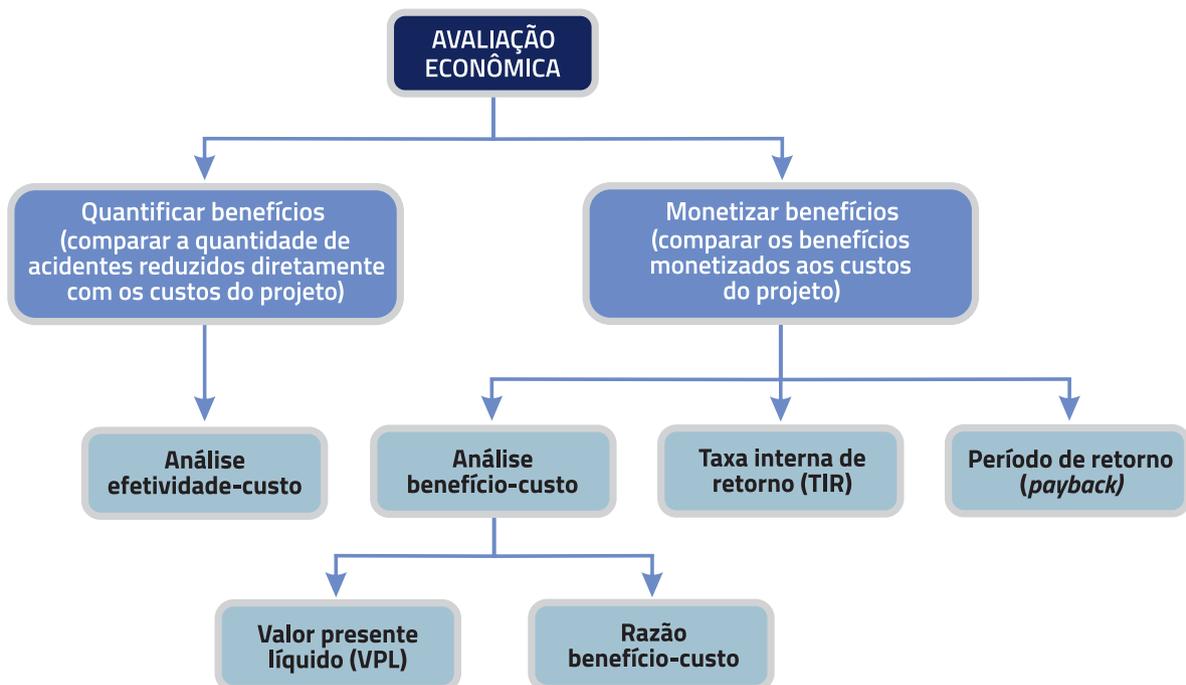
14.1.3 *Indicadores de avaliação econômica*

A avaliação econômica pode ser realizada com o cálculo de diversos indicadores. Dependendo do método utilizado na consideração dos benefícios de um projeto, pode-se realizar uma análise de benefício-custo ou de efetividade-custo.

Em ambos os casos, tanto os benefícios esperados e os custos devem ser quantificados. Contudo, enquanto os custos sempre devem ser monetizados, os benefícios podem ou não ser estimados em termos monetários. Quando os benefícios são monetizados, a avaliação econômica pode ser feita por meio da análise benefício-custo, da taxa interna de retorno (TIR) ou do período de retorno. Por outro lado, quando os benefícios não podem ser monetizados, eles devem ser quantificados pela redução no número de acidentes, e a avaliação econômica deve ser realizada pelo uso da relação efetividade-custo.

A Figura 14.2 apresenta os indicadores anteriormente mencionados, relacionando-os à necessidade ou não de monetizar os benefícios. Esses indicadores buscam quantificar a redução de acidentes decorrente da implantação de projetos de contramedidas, que é justamente a medida de desempenho utilizada em avaliações de Segurança Viária.

Figura 14.2: Principais métodos de avaliação econômica utilizados no Gerenciamento da Segurança Viária



Fonte: elaborado pelo autor

A relação efetividade-custo pode ser utilizada para avaliar a redução no número de acidentes com vítimas fatais ou vítimas com ferimentos graves, além da redução no número total de acidentes. Assim, podem ser utilizados índices como o UPS² para estimar a variação da severidade dos acidentes. Nesse caso, pode-se levar em consideração um possível aumento na ocorrência de acidentes com vítimas leves após a implantação de um projeto de contramedidas.

² Índice UPS é abordado no “Capítulo 3 — Acidentalidade”.

O cálculo da relação efetividade-custo (EC) é realizado por meio da Equação 14.3:

$$EC = \text{Redução esperada no número de acidentes} / VP_{\text{custos}} \quad \text{Eq. 14.3}$$

Onde:

- “Redução esperada no número de acidentes” pode se referir à redução esperada no número total de acidentes, no número de acidentes com vítimas fatais ou no número de acidentes com vítimas graves, ou ainda, a um índice que leva em consideração a severidade dos acidentes, como o índice UPS; e
- “ VP_{custos} ” corresponde ao valor presente dos custos do projeto durante sua vida útil.

A razão benefício-custo (RBC) e o valor presente líquido (VPL) costumam ser utilizados para justificar economicamente projetos de Segurança Viária. Um projeto é economicamente justificável quando os benefícios superam os custos, ou seja, quando a RBC calculada assumir um valor maior que 1,0 ou quando o VPL calculado assumir um valor maior que zero. Para calcular a RBC e o VPL são utilizadas as Equação 14.4 e Equação 14.5, respectivamente.

$$RBC = VP_{\text{benefícios}} / VP_{\text{custos}} \quad \text{Eq. 14.4}$$

$$VPL = VP_{\text{benefícios}} - VP_{\text{custos}} \quad \text{Eq. 14.5}$$

A taxa interna de retorno (TIR) representa a taxa de juros necessária para que o projeto alcance um VPL igual a zero ou uma RBC igual a 1,0, ou seja, para que o projeto seja economicamente justificável no período analisado. A TIR não pode ser calculada por uma equação direta, mas sim por métodos iterativos ou de forma gráfica, com gráficos construídos a partir das entradas e saídas do fluxo de caixa.

Já a avaliação econômica realizada por meio do período de retorno é a única que possui período de análise variável, pois o que deve ser determinado é, justamente, o tempo necessário para que os benefícios de um projeto se igualem a seus custos.

Assim, cada projeto possui um período de retorno, e conseqüentemente, um período de análise diferente.

No Quadro 14.3, são sugeridas situações de melhor utilização dos diferentes métodos apresentados na Figura 14.2, destacando as principais vantagens e desvantagens associadas a cada um deles.

Quadro 14.3: Principais métodos de avaliação econômica dos projetos de contramedidas

Método	Utilização	Vantagens	Desvantagens
Avaliação efetividade-custo	<p>Situações nas quais não há possibilidade de converter a variação esperada na frequência de acidentes em valores monetários.</p> <p>Priorização de projetos, especificando aqueles de menor custo, para atingir determinada meta de redução de acidentes.</p>	<p>Cálculo simples e rápido que fornece uma noção geral do valor de um projeto.</p> <p>Resulta em um valor numérico que pode ser utilizado para comparar diferentes projetos.</p> <p>Não há necessidade de converter a redução na frequência esperada de acidentes em um valor monetário.</p> <p>Pode ser determinado por tipo ou severidade de acidente.</p>	<p>Não diferencia o valor da redução de acidentes conforme a severidade.</p> <p>Não indica se um projeto é economicamente justificável, uma vez que os benefícios não são expressos em termos monetários.</p>
<p>Avaliação benefício-custo</p> <p>A) Valor presente líquido (VPL)</p>	<p>Avaliação e comparação de contramedidas, ou uma associação delas, para um mesmo local crítico ou para uma rede viária.</p> <p>Priorização de projetos, determinando qual deles oferece os meios de maior vantagem econômica para redução de acidentes (priorização pelo ranqueamento do VPL, explicado no item “14.2 — Métodos de priorização”).</p>	<p>Pode ser usado para definir ações prioritárias, ordenando os projetos do maior para o menor valor.</p> <p>Avalia se um projeto é economicamente justificável.</p>	<p>A dimensão dos benefícios não pode ser facilmente interpretada: uma contramedida de grande benefício e alto custo pode apresentar um VPL menor que outra com baixo benefício e custo baixo.</p> <p>Exige a definição prévia de uma taxa de desconto.</p> <p>Tende a priorizar os projetos que apresentam benefícios de curto prazo, ao passo que aqueles que apresentam benefícios a longo prazo são “subavaliados”, em razão da aplicação da taxa de desconto.</p>



Método	Utilização	Vantagens	Desvantagens
<p>Avaliação benefício-custo</p> <p>B) Razão benefício-custo (RBC)</p>	<p>Definição de prioridades entre os projetos.</p> <p>Justificar economicamente projetos, especialmente aqueles que envolvem investimentos públicos.</p> <p>Auxílio na aplicação dos recursos disponíveis da maneira mais eficiente possível em projetos com orçamento limitado.</p>	<p>A dimensão da relação benefício-custo torna evidente o interesse por um projeto proposto.</p> <p>Ao contrário do VPL, a dimensão do tempo é descartada, ou seja, não prioriza benefícios de curto nem longo prazo.</p> <p>É amplamente aceita como método para justificar projetos economicamente viáveis.</p>	<p>Não pode ser utilizada para identificar a combinação mais econômica de projetos para um orçamento específico.</p> <p>Pode produzir resultados ambíguos e enganosos, dependendo de como os benefícios e custos são definidos (medidas de baixo custo são geralmente favorecidas).</p>
Taxa interna de retorno (TIR)	Justificar economicamente um projeto (no caso de projetos voltados para a Segurança Viária, os benefícios considerados no cálculo da TIR devem ser advindos da redução de acidentes).	<p>Não exige a determinação prévia de uma taxa de desconto. Assim, não incorre em erros na avaliação, caso sejam escolhidas premissas inadequadas para essa variável.</p> <p>Útilizada como parâmetro comparativo, permitindo que sejam contempladas possíveis variações no custo de oportunidade a partir de diferentes cenários.</p>	<p>Não pode ser utilizada para classificar projetos.</p> <p>Não deve ser aplicada quando o fluxo de caixa tem variações positivas e negativas ao longo do tempo.</p>
Período de retorno (Payback)	<p>Definição de prioridades entre os projetos.</p> <p>Justificar economicamente um projeto em análises preliminares.</p> <p>Determinação do período necessário, em anos, para que os benefícios de um projeto se igualem a seus custos.</p>	Cálculo simples, pois não envolve desconto do fluxo de caixa.	<p>Não considera o que ocorre após o período de retorno.</p> <p>É uma análise limitada, pois não considera o valor presente dos benefícios e custos.</p>

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1]

Na maioria dos casos, os principais benefícios dos projetos de Segurança Viária podem ser estimados em termos da mudança na frequência e/ou na severidade de acidentes. No entanto, existem outros benefícios advindos da implantação de um projeto

de Segurança Viária que, ao contrário da mudança no cenário de acidentalidade viária, dificilmente podem ser quantificados ou monetizados. Entre eles, destacam-se [1]:

- demanda pública;
- benefício social;
- percepção e aceitação pública dos projetos de melhoria da segurança;
- integração com o entorno;
- cumprimento de políticas estabelecidas e endossadas pela comunidade para melhorar a mobilidade ou acessibilidade;
- redução do número de conflitos de tráfego;
- qualidade do ar, ruído e outras considerações ambientais;
- necessidades dos usuários da rodovia.

Considerações não monetárias contemplam esses benefícios, que não são diretamente relacionados à redução da frequência ou da severidade de acidentes, mas também podem ser incluídas nas decisões sobre projetos de Segurança Viária.

14.1.4 *Análise de sensibilidade*

Após calcular os indicadores mencionados, é desejável realizar uma análise de sensibilidade para avaliar a consistência dos resultados; ou seja, para verificar se os resultados podem ser drasticamente alterados, a partir de pequenas mudanças nos valores de um ou mais parâmetros [11].

A análise de sensibilidade deve ser realizada, especialmente quando as estimativas de custos e benefícios não forem confiáveis, com o objetivo de avaliar se os erros embutidos nas estimativas interferem demasiadamente na avaliação econômica. Para isso, a margem de variação dos parâmetros-chave deve ser avaliada e, posteriormente, os indicadores devem ser recalculados [11]. Caso os resultados variem demasiadamente, as estimativas de custos e benefícios devem ser revisadas [2].

A análise de sensibilidade também é útil quando os benefícios calculados são pouco superiores aos custos estimados, quando os resultados de análises benefício-custo são pouco superiores a um.

BOX 3

EXEMPLO DE CÁLCULO PARA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE



A análise de sensibilidade pode ser realizada em relação ao cálculo dos benefícios, identificando a variação ocorrida na estimativa desses valores, a partir da variação do cálculo do Valor Estatístico da Vida (VEV), como no exemplo abaixo.

Segundo o IBGE, o PIB per capita no Brasil no ano de 2021 foi R\$ 40.688,00. Utilizando a Equação 14.2, chega-se a um VEV de:

$$\text{VEV} = 70 \times \text{R\$ } 40.688,00 \rightarrow \text{VEV} = \text{R\$ } 2.848.160,00$$

Supondo a implantação de um projeto de Segurança Viária, cuja expectativa é reduzir a frequência de acidentes com vítimas fatais em cinco acidentes por ano, o benefício anual nessa situação seria de R\$ 14.240.800,00 (R\$ 2.848.160,00 x 5 acidentes).

Uma análise de sensibilidade pode ser realizada no cálculo do Valor Estatístico da Vida, considerando-se o cenário anterior como o mais provável. Para tanto, é estabelecido um cenário pessimista, no qual o VEV é determinado multiplicando o PIB per capita por 60, e um cenário otimista, no qual o PIB per capita é multiplicado por 80. Assim, os VEVs e os benefícios anuais estimados assumiriam os valores:

$$\text{VEV}_{\text{pessimista}} = \text{R\$ } 2.441.280,00 \rightarrow \text{Benefício anual: R\$ } 12.206.400,00$$

$$\text{VEV}_{\text{otimista}} = \text{R\$ } 3.255.040,00 \rightarrow \text{Benefício anual: R\$ } 16.275.200,00$$

O desvio padrão apresentado pelos benefícios nesses cenários é de 14,3%. Essa imprecisão pode tornar um projeto inviável economicamente, dependendo de seu custo, pois a relação benefício-custo pode se tornar menor que um.

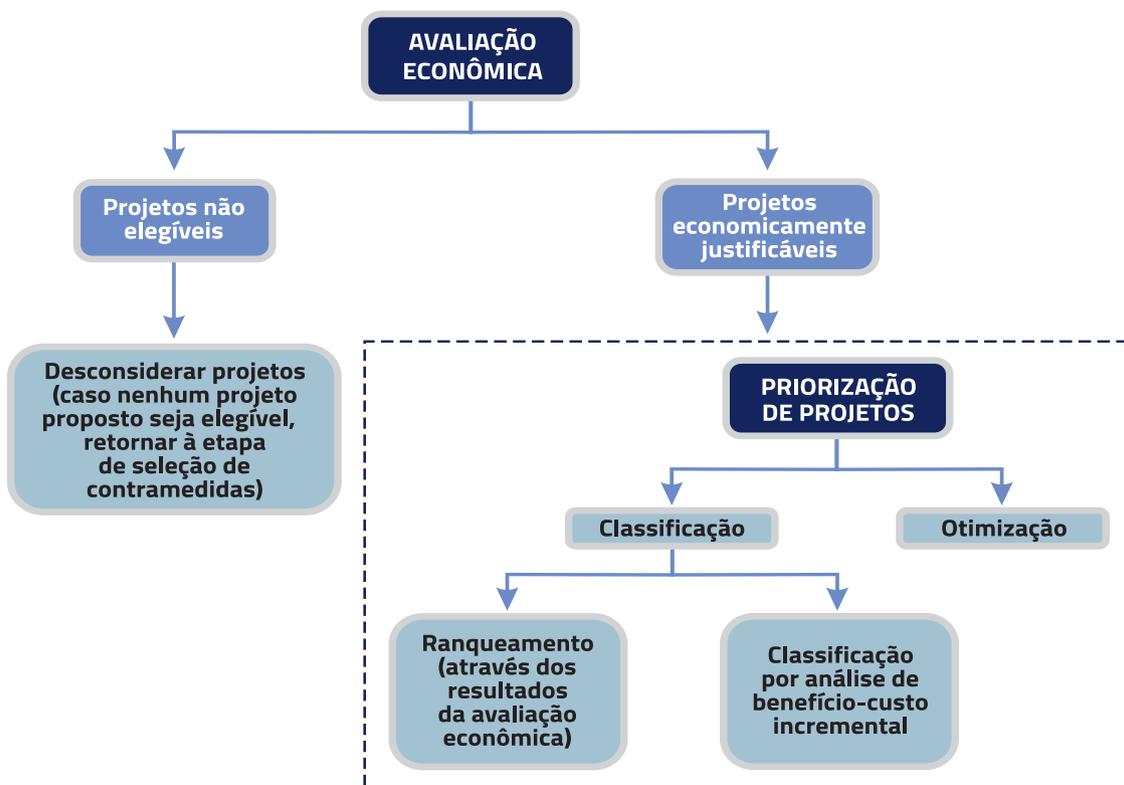
Para projetos de Segurança Viária, as estimativas de redução de acidentes são os pontos mais críticos da avaliação, pois apresentam maior grau de incerteza em relação a outros parâmetros. Diante disso, recomenda-se estimar um intervalo de variação da redução de acidentes, do cenário mais otimista ao mais pessimista. Esses resultados devem ser, então, comparados ao cenário original — mais provável. Além disso, pode-se realizar uma análise do risco econômico do projeto, atribuindo probabilidades de ocorrência aos cenários calculados — otimista, pessimista e mais provável [12].

14.2 Métodos de priorização

Na etapa de priorização do Gerenciamento da Segurança Viária, é desenvolvida uma lista ordenada de projetos, com o objetivo de comparar e ranquear diferentes projetos

de contramedidas que podem ser implantados em um único local, além de identificar a combinação mais econômica para a implantação de projetos em diferentes locais. A elaboração da lista de priorização deve levar em consideração apenas projetos classificados como elegíveis, a partir da avaliação econômica realizada anteriormente. Caso um projeto proposto seja economicamente inviável, ele deve ser descartado, considerando-se apenas os projetos economicamente justificáveis na etapa de priorização. O fluxograma da Figura 14.3 ilustra o processo de seleção dos projetos que podem fazer parte da etapa de priorização, apresentando, também, os métodos que podem ser utilizados nessa etapa.

Figura 14.3: Etapa de priorização de projetos no Gerenciamento da Segurança Viária



Fonte: adaptado de [1]

Os resultados da priorização de projetos devem ser incorporados ao processo de tomada de decisão, como uma informação-chave. Contudo, não devem, necessariamente, ser adotados de forma definitiva para a escolha dos projetos a serem implementados. Isso porque o resultado da priorização depende de diversos fatores, como a

possibilidade de quantificação dos benefícios, o método utilizado na estimativa de custos e benefícios, o método de priorização utilizado e a vida útil dos projetos analisados. Além disso, a tomada de decisão pode ser influenciada por fatores não econômicos, como fatores sociais, ambientais e políticos [1].

A priorização pode ser realizada pelo ranqueamento de parâmetros econômicos — de acordo com critérios pré-estabelecidos, como custo do projeto, número total de acidentes reduzidos, valor monetário dos benefícios, valor presente líquido (VPL), índice de efetividade-custo, número de acidentes com vítimas fatais reduzidos etc. — ou da classificação por análise de benefício-custo incremental. Ambos os métodos, resultam em uma lista de projetos priorizados com base em um critério pré-determinado.

Como alternativa, os projetos também podem ser priorizados por meio de processos de otimização (programação linear, programação inteira e programação dinâmica), fornecendo um resultado consistente com uma análise de benefício-custo incremental, mas podendo levar em consideração restrições orçamentárias [2].

Esses três métodos de priorização são apresentados na Figura 14.3. A classificação por ranqueamento é o método mais simples e recomendado para tomar decisões em um número limitado de locais. A análise de benefício-custo incremental, por sua vez, permite comparar diretamente a efetividade econômica de diferentes projetos. Apesar de serem mais simples em sua aplicação, esses métodos não consideram restrições orçamentárias.

Métodos de otimização são mais complexos, sendo necessário programas computacionais para seu uso eficiente. Esses métodos podem ser utilizados para identificar um conjunto de projetos capazes de maximizar os benefícios dentro de um orçamento fixo, além de levar em consideração outras restrições. Assim, podem ser utilizados para estabelecer prioridades de projeto para todo um sistema rodoviário ou qualquer subconjunto do sistema rodoviário [1].

O Quadro 14.4 apresenta um resumo das principais características de cada método citado anteriormente.

Quadro 14.4: Métodos de priorização de projetos de contramedidas

Método	Utilização	Aplicação	Considerações
Ranqueamento	Selecionar projetos, analisando um número limitado de locais ou de alternativas de projeto para cada local.	Classificação a partir de dois ou mais critérios de classificação (VPL, custo do projeto etc.), podendo utilizar os indicadores de avaliação econômica.	A priorização pode ser melhorada utilizando mais de um critério de classificação.
Classificação por análise de benefício-custo incremental	Selecionar projetos por meio da relação benefício-custo. Exige valores presentes dos benefícios e custos em termos monetários.	Classificação com base nos benefícios e custos dos projetos.	Exige cálculo da relação benefício-custo para cada par de projetos analisados. Planilhas eletrônicas e <i>softwares</i> (como o <i>Microsoft Excel</i> e o <i>Roadside Safety Analysis Program</i>) são úteis para automatizar os cálculos e não perder informações de cada iteração.
Processos de otimização	Identificar um conjunto de projetos que maximiza os benefícios dentro de um orçamento fixo, podendo levar em consideração outras restrições. Estabelece prioridades de projeto para todo um sistema rodoviário.	Classificação otimizada de projetos que fornece: 1. Benefícios máximos para um determinado orçamento; ou 2. Custo mínimo para um benefício pré-determinado.	Recomenda-se a utilização de <i>softwares</i> apropriados para o nível de complexidade do processo de otimização (como o <i>FHWA Safety Analyst</i> , o <i>Resurfacing Safety Resource Allocation Program (RSRAP)</i> e o <i>Microsoft Excel</i>).

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1]

14.3 Monitoramento de projetos implantados

O monitoramento de ações voltadas para a redução da acidentalidade viária consiste na coleta sistemática de dados de desempenho da segurança no trânsito e no acompanhamento dos números e índices associados. A etapa de monitoramento de projetos implementados tem os seguintes objetivos [3]:

- identificar e medir as alterações na frequência e na severidade dos acidentes, mediante a avaliação da efetividade dos projetos implantados, verificando se ocorreram os efeitos esperados com a implantação do projeto;
- identificar quaisquer efeitos inesperados e indesejados decorrentes da implantação do projeto;
- considerar a opinião da população sobre os efeitos do projeto implementado e verificar se foi levantado algum ponto de preocupação;
- avaliar se as intervenções têm impactos em outros aspectos além da Segurança Viária (como distribuição do tráfego ou velocidade);
- verificar a funcionalidade dos dispositivos e elementos de segurança implantados, por meio da inspeção e manutenção dos projetos implantados.

Com o monitoramento, são identificados os projetos implantados que tiveram sucesso e, também, aqueles que não tiveram, sendo possível delinear ações futuras. Somente mediante o monitoramento é possível comparar o nível de Segurança Viária em determinado local em diferentes períodos [12].

O acompanhamento dos projetos deve ser realizado ao longo de três fases: anterior à implantação das intervenções; durante a implantação das intervenções / execução da obra; posterior à implantação [2]. Devem ser coletadas informações a respeito da frequência de acidentes e do volume de tráfego antes e após a implantação do projeto, da data de início e término da implantação e dos custos efetivos de implantação.

Em geral, na fase posterior à implantação dos projetos, o monitoramento consiste em três etapas [12]:

- (1) Imediatamente ou no período subsequente à implantação do projeto: identificar e corrigir eventuais falhas de concepção ou execução e efeitos adversos indesejáveis. Além disso, tem como objetivo acompanhar a evolução da segurança nos meses iniciais (geralmente, até o primeiro ano) da implantação do projeto.
- (2) Médio prazo: conferir se o projeto efetivamente reduziu a frequência e a severidade dos acidentes no local tratado.
- (3) Longo prazo: realizar a análise por tipologia dos acidentes³, e avaliar se há necessidade de implementar novas contramedidas.

Ressalta-se que o monitoramento da efetividade de projetos implantados deve contemplar toda a área de influência do projeto, considerando os riscos de migração de acidentes. Além disso, fatores externos, que se alteram ao longo do tempo — como volume de tráfego, clima, comportamento dos usuários, entre outros —, podem influenciar na ocorrência e na severidade dos acidentes, fazendo com que a acidentalidade varie significativamente de ano para ano [13]. Assim, é necessário realizar o monitoramento contínuo de locais críticos, mesmo daqueles que não tenham sido selecionados para implementação de contramedidas.

14.3.1 Avaliação da efetividade de projetos implantados

A avaliação da efetividade faz parte da etapa de monitoramento no processo de Gerenciamento da Segurança Viária e deve ser realizada após a implantação do projeto selecionado. Na avaliação da efetividade são desenvolvidas análises quantitativas, de modo a mensurar como o projeto de Segurança Viária implementado afetou a frequência e a severidade dos acidentes.

Esse processo envolve uma análise da acidentalidade, comparando o desempenho de segurança antes e depois de um projeto ser implementado [3]. Contudo, não se trata de simplesmente comparar os dados de acidentes antes e depois da implementação. É necessário levar em consideração as mudanças que teriam ocorrido na frequência de

³ A tipologia dos acidentes é abordada no “Capítulo 3 — Acidentalidade”.

acidentes em um cenário no qual o projeto não tivesse sido implementado, uma vez que, como dito anteriormente, fatores externos — que podem afetar a frequência de acidentes — mudam ao longo do tempo. Por essa razão, compara-se o cenário observado após a implementação do projeto de Segurança Viária (acidentes observados) com a projeção de acidentes para o mesmo período, caso não tivessem sido feitos melhoramentos no local.

Além disso, é necessário ter cuidado especial ao selecionar os dados utilizados na avaliação da efetividade, de modo a evitar análises equivocadas. Ao determinar a efetividade considerando o número de mortes ao invés do número de acidentes com morte, por exemplo, um único acidente envolvendo um ônibus, pode resultar em um número de mortes maior do que vários acidentes com morte envolvendo veículos leves.

Com relação ao período de análise, há uma série de questões importantes a serem consideradas [1], [3], [14]:

- Dados referentes ao período de implantação do projeto não devem ser considerados. Se esse período não for registrado com precisão, deve ser excluído do estudo um período maior que contenha o período de implantação;
- Um período de ajuste é, normalmente, considerado após a implantação de um projeto de Segurança Viária. Usualmente, é necessário que um determinado tempo transcorra para que o tratamento se torne totalmente eficaz. No entanto, algumas mudanças podem ter efeitos temporários na Segurança Viária. Nesses casos, o comportamento dos usuários da via retorna ao padrão anterior, após o período de ajuste. Não existe uma regra sobre a duração do período de ajuste, sendo geralmente considerado um período entre um e três meses. Caso o período posterior para o estudo seja suficientemente longo, o período de ajuste pode ser ignorado;
- O período anterior à implantação do projeto deve ser longo o suficiente para fornecer uma boa estimativa estatística do verdadeiro nível de segurança local, de modo a eliminar flutuações aleatórias, tanto quanto possível. Não deve, no entanto, incluir períodos durante os quais o local apresentou características diferentes, como, por exemplo, o período de implantação. O período anterior deve terminar antes do início da implementação da

melhoria. Como regra geral, um período de três a cinco anos é considerado razoável para análise, sendo três anos o mínimo recomendado;

- O período posterior à implantação do projeto também deve ser longo o suficiente para examinar o nível de segurança, devendo ser de no mínimo três anos e começar após a implementação da melhoria ser concluída (considerando-se o período de ajuste conforme indicado anteriormente);
- Devem ser utilizados períodos de avaliação múltiplos de 12 meses, para que não haja enviesamento sazonal nos dados (geralmente são escolhidos períodos de avaliação que consistem em anos civis completos, pois torna-se mais fácil reunir os dados necessários. Nesse caso, o ano inteiro durante o qual a melhoria foi instalada é excluído do período de avaliação).

Existem três métodos básicos de estudo utilizados para avaliar a efetividade de projetos de Segurança Viária, a depender das informações disponíveis [1]:

- estudos observacionais antes / depois;
- estudos observacionais transversais;
- estudos experimentais antes / depois.

Estudos observacionais antes / depois consistem em comparar as frequências de acidentes antes e depois da implementação de um projeto. Desse modo, são necessários dados de acidentes nos períodos anterior e posterior à implantação de uma melhoria de segurança. Além disso, é preciso considerar o uso de uma metodologia adequada para estimar a frequência de acidentes que teria ocorrido no período posterior à implantação do projeto, caso esse não tivesse sido implementado, como mencionado anteriormente.

Um requisito fundamental para um estudo antes / depois é que o local de estudo deve manter suas principais características em todo o período da análise [14]. Caso contrário, a avaliação pode considerar outras modificações ocorridas no local, mesmo que essas não sejam necessariamente relacionadas à implementação do projeto.

Estudos observacionais transversais devem ser aplicados quando não for possível realizar estudos antes / depois. Esse tipo de estudo considera a ocorrência de acidentes

em locais com e sem tratamento, atribuindo a diferença no número de acidentes dos diferentes locais à presença do projeto de Segurança Viária. Contudo, essa metodologia não leva em consideração os dados do período anterior à implantação do projeto, limitando a confiabilidade das conclusões, uma vez que as tendências ao longo do tempo não são consideradas [13].

Estudos experimentais antes / depois avaliam projetos de contramedidas que foram implementados, especificamente, para que sua efetividade pudesse ser quantificada. Nesse caso, são selecionados locais com características semelhantes e que, portanto, podem ser comparados. Esses locais são divididos em dois grupos: grupo de controle, no qual nenhum tratamento é implementado, e grupo de tratamento, no qual uma única contramedida de interesse é implementada. Cada local é atribuído aleatoriamente a um dos grupos, de modo a minimizar o viés de seleção e, portanto, o viés de regressão para a média. Com isso, a diferença no número de acidentes entre os dois grupos é atribuída à contramedida.

Esses três métodos utilizam análises estatísticas para avaliar tanto segmentos individuais como conjuntos de pontos que sofreram intervenções, considerando a frequência e a severidade dos acidentes [3]. Apesar do método utilizado, o principal desafio no processo de avaliação da efetividade de um projeto é estimar qual seria a frequência de acidentes no período posterior, caso o tratamento não tivesse sido implementado. Assim, cada tipo de estudo estima esse valor por meio de diferentes metodologias, as quais possuem diferentes níveis de complexidade na aplicação e, conseqüentemente, diferentes níveis de confiança nos resultados.

Ressalta-se a importância de compartilhar os resultados alcançados com a implantação dos projetos. Dessa forma, projetos de contramedidas eficazes podem ser replicados em outros locais, enquanto projetos que não apresentam redução significativa na ocorrência ou na severidade de acidentes podem ser evitados, em favor de outros mais eficazes.

BOX 4

FATORES DE MODIFICAÇÃO DE ACIDENTES (CMF)⁴

CMFs são fatores que representam a mudança esperada na frequência de acidentes, associada a uma contramedida. Estão relacionados a uma modificação em uma condição específica do local, quando todas as outras características permanecem constantes.

O CMF de uma contramedida é determinado pela comparação entre a quantidade de acidentes após a implantação da contramedida e a quantidade de acidentes que teria ocorrido caso a contramedida não tivesse sido implementada. Assim, CMFs são fatores utilizados para avaliar e comparar a efetividade de diferentes contramedidas.

Além disso, os CMFs calculados para uma contramedida por meio de projetos implementados, podem ser utilizados para estimar a variação na ocorrência de acidentes (e assim, os benefícios esperados) na etapa de avaliação econômica de outros projetos semelhantes. Para isso, existem diversas fontes de informação sobre CMFs, como a *CMF Clearinghouse* [15] e o *Highway Safety Manual* [1].

O “Capítulo 15 — Modelo para previsão de acidentes” explica como aplicar CMFs na previsão da redução de acidentes com o uso do método preditivo do HSM.

14.3.1.1 Método de estudos observacionais antes / depois

A abordagem mais comum na avaliação da efetividade de um projeto de Segurança Viária é realizada por meio de estudos observacionais antes / depois [13]. Esses estudos podem ser conduzidos de diferentes formas, dependendo dos dados disponíveis a respeito dos locais sem tratamento e da metodologia utilizada para estimar a frequência de acidentes nesses locais.

Estudos observacionais antes / depois também podem ser aplicados para avaliar se um projeto resultou em uma mudança na frequência de um tipo ou severidade de acidente específico, como proporção do total de acidentes. Algumas contramedidas que reduzem a frequência de acidentes de alta severidade, como rotatórias ou redutores de velocidade, podem aumentar a frequência de acidentes de baixa severidade [14]. Assim, essa abordagem pode ser interessante para avaliar a variação da frequência de acidentes de alta severidade.

⁴ Em inglês, *Crash Modification Factors*.

Na sequência, são introduzidos os três métodos utilizados nos estudos observacionais antes / depois:

- (i) estudo observacional antes / depois simples
- (ii) estudo observacional antes / depois usando o método Empírico de Bayes
- (iii) estudo observacional antes / depois usando grupo de controle

i. Estudo observacional antes / depois simples

Um estudo observacional antes / depois realizado sem levar em consideração locais sem tratamento é chamado de estudo antes / depois simples. Essa é a abordagem atualmente utilizada pelo DER/SP na avaliação da efetividade de projetos de Segurança Viária.

A Figura 14.4 esquematiza essa metodologia. O triângulo azul preenchido refere-se ao valor observado no local no período anterior ao tratamento. O triângulo verde vazado está relacionado ao valor estimado para o local, num período posterior, no caso de não haver qualquer tratamento. O triângulo verde preenchido diz respeito ao valor observado no local tratado, no período posterior.

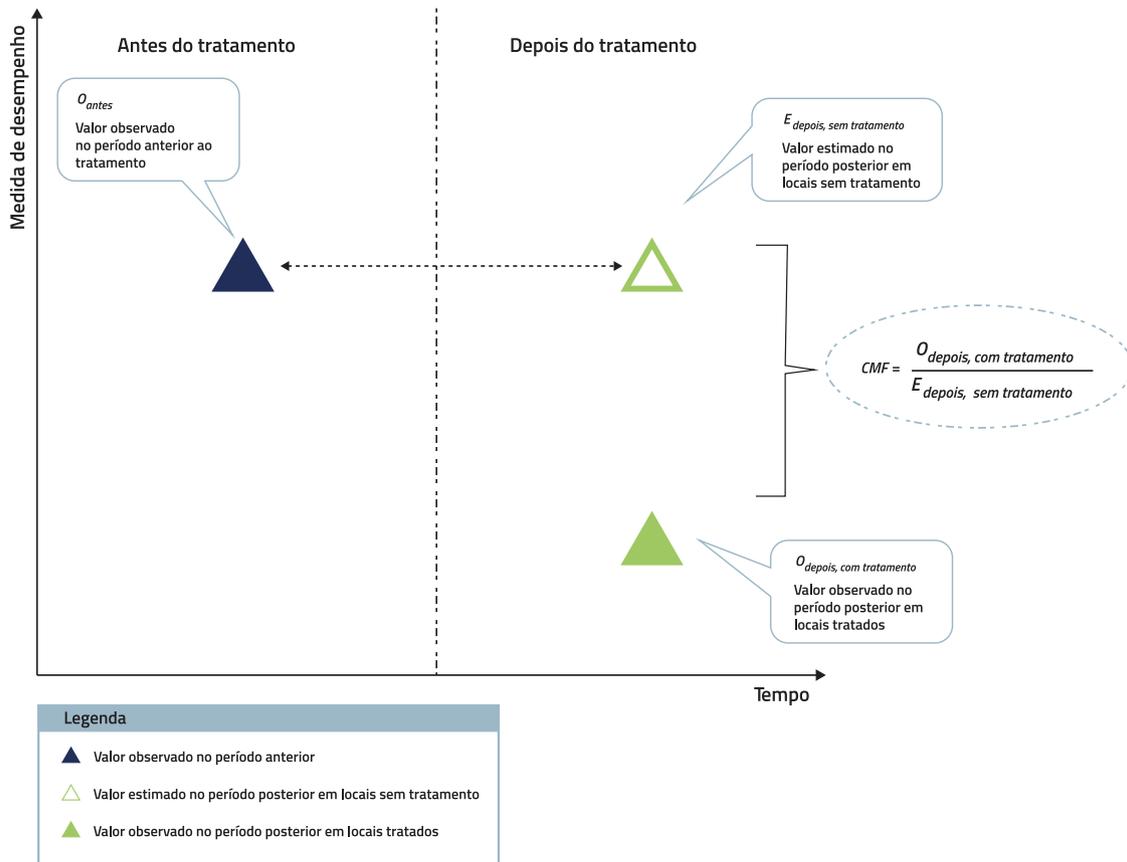
Nesse caso, é adotada a premissa de que o valor estimado para a frequência de acidentes em locais não tratados, no período posterior de análise, permanece igual à frequência de acidentes observada no período anterior.

Entende-se, portanto, que a variação entre a frequência de acidentes observada e a frequência de acidentes estimada, no período posterior, está diretamente relacionada à implantação do tratamento. Logo, a efetividade do projeto (ou seja, o CMF) é calculado pela razão entre o valor observado no período posterior, no local tratado, e o valor esperado no período posterior, caso não houvesse intervenção.

A suposição simplificadora, adotada para estimar a frequência de acidentes em locais não tratados, compromete a capacidade de avaliar conclusivamente se a diferença entre o valor observado e o valor estimado no período posterior ocorreu exclusivamente devido ao tratamento aplicado [13]. Além disso, essa abordagem não leva em consideração o viés de regressão para a média⁵, além de não compensar tendências gerais dos dados de acidentes no período analisado.

⁵ O conceito do viés de regressão para a média é apresentado no “Capítulo 5 — Uso e tratamento de dados de acidentes”.

Figura 14.4: Esquema da metodologia utilizada em estudos observacionais antes / depois simples



Fonte: adaptado de [13]

ii. Estudo observacional antes / depois usando o método Empírico de Bayes

Na literatura internacional, os estudos mais empregados na avaliação da efetividade de projetos de Segurança Viária são aqueles que utilizam o método Empírico de Bayes (EB) para levar em consideração locais sem tratamento. Essa metodologia combina valores previstos com a aplicação de Funções de Desempenho de Segurança (SPFs)⁶ e valores observados, para estimar a frequência de acidentes em um local de interesse [1].

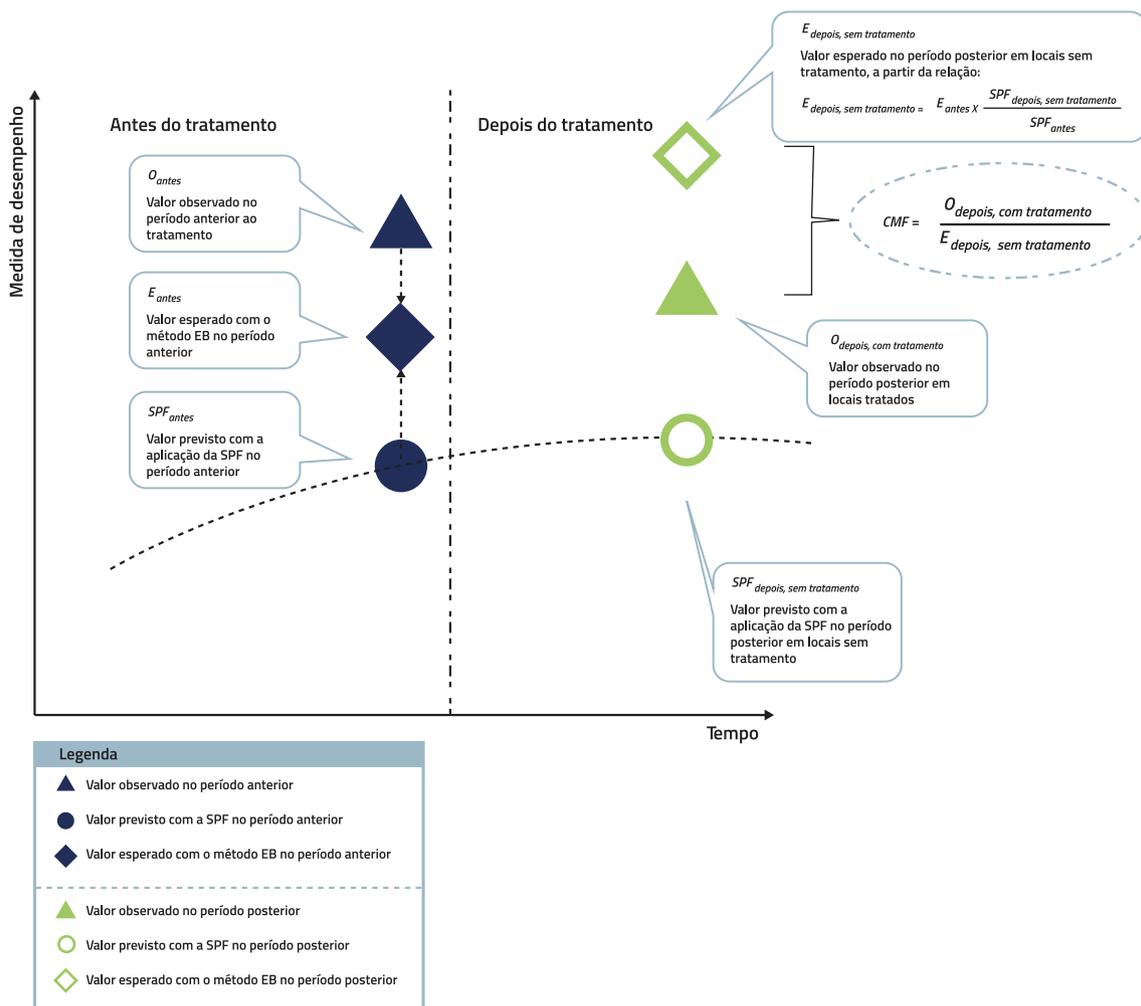
O uso do método EB compensa o viés de regressão para a média, por meio da ponderação da frequência de acidentes. Assim, apresenta resultados mais confiáveis e

⁶ Funções de Desempenho de Segurança (em inglês, Safety Performance Functions — SPFs) são expressões utilizadas para estimar a frequência de acidentes em segmentos viários com características pré-determinadas. O “Capítulo 15 — Modelo para previsão de acidentes” explica a aplicação dessas funções, assim como sua utilização no método preditivo do HSM [1].

mais próximos à realidade que o método simples. A aplicação do método EB, que pondera a frequência observada e a frequência prevista com a SPF é explicada com mais detalhes no “Capítulo 15 — Modelo para previsão de acidentes”.

A avaliação da efetividade de um projeto usando o método EB é ilustrada na Figura 14.5.

Figura 14.5: Esquema da metodologia utilizada em estudos observacionais antes / depois usando o método Empírico de Bayes



Fonte: adaptado de [13]

Os símbolos à esquerda, em azul, referem-se ao período anterior, sendo que o triângulo azul preenchido corresponde ao valor observado e o losango azul preenchido, ao valor esperado com o método EB. Os símbolos à direita, em verde, representam

valores do período posterior, sendo o triângulo verde preenchido o valor observado no local tratado e o losango verde vazado o valor esperado para locais sem tratamento. A SPF é incorporada à análise EB para determinar a frequência prevista de acidentes em locais semelhantes e é representada pela curva de tendência na parte inferior da Figura 14.5. Os valores previstos com a SPF, para os períodos anterior e posterior, são representados pelos círculos.

No período anterior, a SPF é utilizada para estimar a frequência de acidentes nos locais antes do tratamento (SPF_{antes}). Em seguida, com a aplicação do método EB, esse valor é ponderado com o valor observado no mesmo período (O_{antes}), para estimar um valor da frequência de acidentes mais próximo à realidade (E_{antes}).

No período posterior, utiliza-se novamente a SPF para estimar a frequência de acidentes nos locais sem tratamento ($SPF_{depois, sem tratamento}$). Para alcançar valores mais próximos à realidade nesses locais, inicialmente é calculada a razão entre os valores previstos com a SPF nos períodos posterior e anterior. Essa razão é, então, aplicada ao valor esperado pelo método EB no período anterior (E_{antes}), chegando-se ao valor esperado mais próximo à realidade em locais sem tratamento no período posterior ($E_{depois, sem tratamento}$), como mostra a Equação 14.6.

$$E_{depois, sem tratamento} = E_{antes} \times \frac{SPF_{depois, sem tratamento}}{SPF_{antes}} \quad \text{Eq. 14.6}$$

Por fim, a efetividade de um projeto é determinada pela relação entre a frequência de acidentes observada nos locais tratados no período posterior ($O_{depois, com tratamento}$) e a frequência de acidentes esperada no mesmo período em locais sem tratamento ($E_{depois, sem tratamento}$). Essa relação é apresentada na Equação 14.7.

$$CMF = \frac{O_{depois, com tratamento}}{E_{depois, sem tratamento}} \quad \text{Eq. 14.7}$$

iii. Estudo observacional antes / depois usando grupo de controle

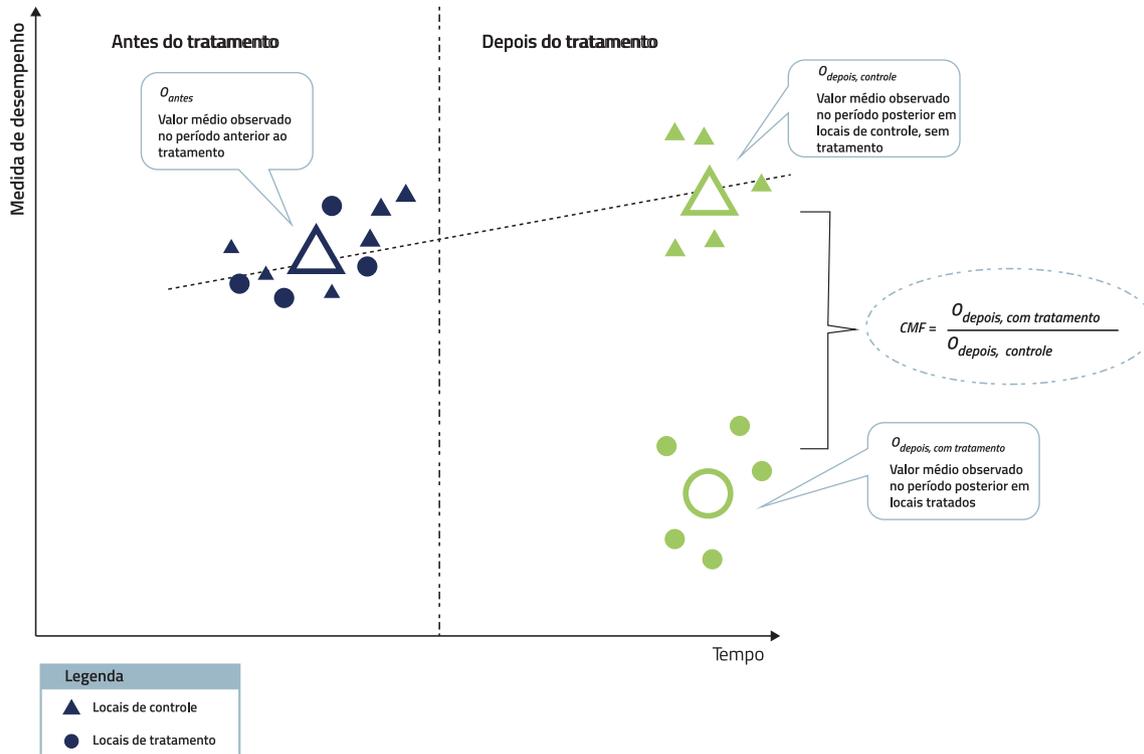
Estudos observacionais antes / depois podem englobar locais sem tratamento, usando um grupo de controle (ou grupo de comparação). O objetivo do grupo de controle é estimar a mudança que teria ocorrido na frequência de acidentes nos locais tratados, caso o projeto não tivesse sido implementado. Assim, a seleção de locais de controle apropriados é uma etapa fundamental nessa abordagem [1].

A avaliação da efetividade é feita pela comparação, no período após o tratamento, da frequência média observada de acidentes nos locais tratados e da frequência média observada nos locais de controle [13].

A Figura 14.6 esquematiza essa metodologia. Os triângulos azuis referem-se aos valores observados antes do tratamento nos locais selecionados (tanto para receber o tratamento como para compor o grupo de controle). Os triângulos verdes preenchidos referem-se aos valores observados no período posterior nos locais de controle. Os círculos verdes preenchidos referem-se aos valores observados no período posterior nos locais tratados. O triângulo verde vazado representa a média calculada dos valores observados nos locais de controle no período posterior e o círculo verde vazado representa a média calculada para os locais tratados no mesmo período.

A utilização do grupo de controle leva em consideração os efeitos de regressão para a média e permite considerar as tendências gerais na frequência ou severidade dos acidentes ao assumir que fatores externos que influenciam a segurança têm o mesmo efeito sobre a frequência de acidentes nos locais de controle e nos locais tratados [14].

Figura 14.6: Esquema da metodologia utilizada em estudos observacionais antes / depois com grupo de controle



Fonte: adaptado de [13]

14.3.1.2 Método de estudos observacionais transversais

Existem diversas situações em que uma avaliação antes / depois, embora desejável, simplesmente não é viável. Projetos de melhorias nos quais as datas de implementação não são conhecidas, em que os dados de acidente e volume de tráfego para o período anterior à implementação não estão disponíveis ou, ainda, quando a avaliação precisa levar em consideração explicitamente os efeitos de alterações na geometria, são alguns exemplos de situações nas quais não é possível realizar estudos antes / depois [1]. Nesses casos, um estudo observacional transversal deve ser realizado.

Estudos observacionais transversais avaliam, em um mesmo período, diversos locais que apresentam características semelhantes (como volume de tráfego e

características geométricas da via), mas, a priori, não têm dados a respeito da acidentalidade. Assim, dos locais selecionados para a comparação, alguns devem apresentar a contramedida que se deseja avaliar, enquanto outros devem diferir apenas pela ausência da contramedida, apresentando configurações semelhantes. Por isso, são separados em dois grupos:

- Grupo de tratamento: formado por locais que apresentam a contramedida; e
- Grupo de controle: formado por locais que apresentam características gerais semelhantes aos locais de tratamento, porém não apresentam a contramedida a ser avaliada.

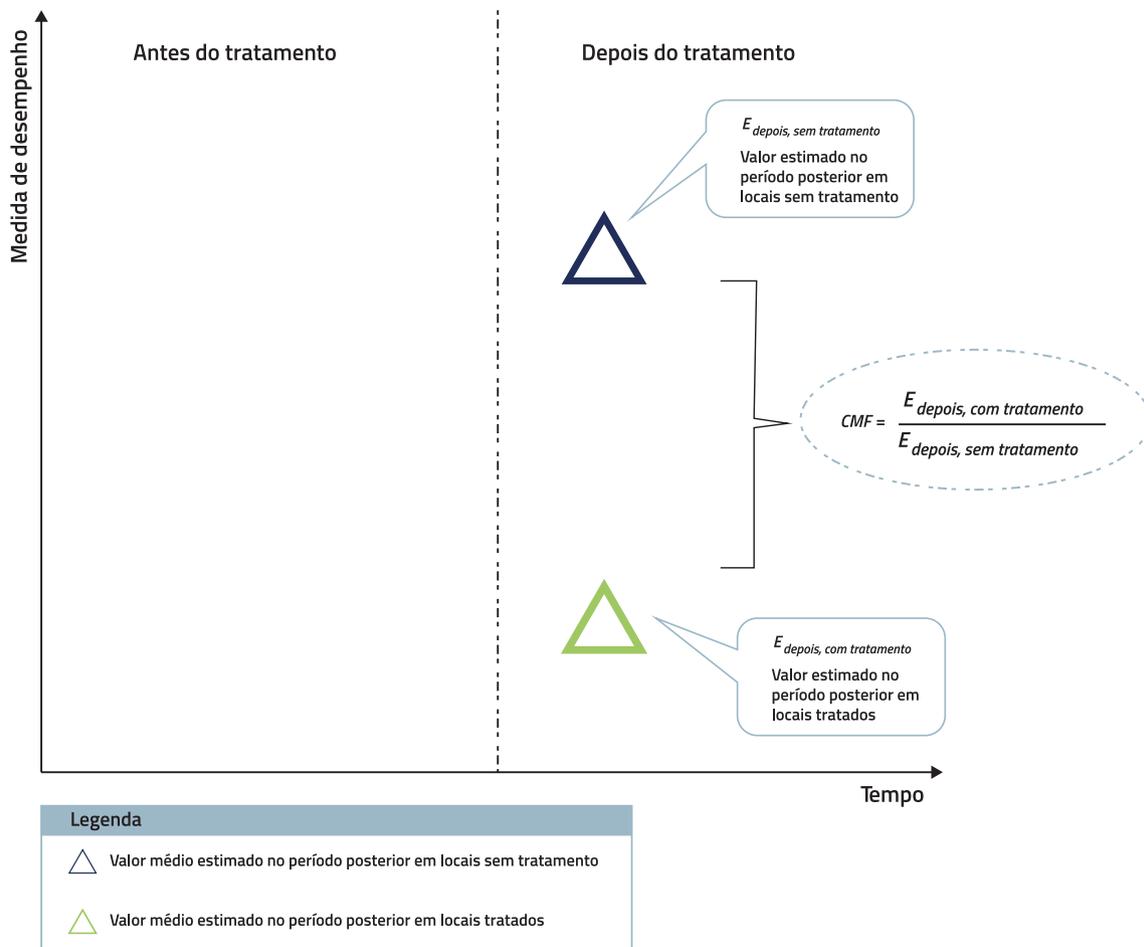
Quando se deseja avaliar a efetividade da implantação de rotatórias com um estudo observacional transversal, por exemplo, deve-se selecionar interseções em nível com e sem rotatória, que apresentem o mesmo número de aproximações, o mesmo número de faixas por aproximação, VDMs parecidos e outras características semelhantes. Nesse caso, os locais com rotatória são atribuídos ao grupo de tratamento e os locais sem rotatória, ao grupo de controle.

A diferença dos estudos transversais para os estudos observacionais antes / depois com grupo de controle, é que, no caso dos estudos transversais, não existem dados para o período anterior, e os grupos de tratamento e controle são selecionados apenas depois do projeto ter sido implementado. Dessa forma, se os locais de controle não tiverem características semelhantes aos locais de tratamento, os efeitos das características locais podem ser confundidos com efeitos do tratamento, podendo gerar um viés da relação causa e efeito [14]. Por esta razão, estudos transversais devem ser utilizados apenas quando dados do período anterior não estiverem disponíveis.

Para reduzir o viés da relação causa e efeito, modelos estatísticos (como modelos de regressão multivariados) podem ser desenvolvidos para estimar de que modo as variáveis selecionadas (volume de tráfego, largura da pista, geometria das curvas, bem como a presença ou ausência do tratamento) afetam a variável dependente (no caso, a frequência de acidentes) [14]. Assim, é possível estimar a efetividade do projeto implantado por meio da comparação das frequências de acidentes estimadas com os modelos estatísticos em locais com e sem tratamento, no período posterior [13].

A Figura 14.7 esquematiza essa metodologia, comparando os valores estimados para as frequências no período posterior. Os símbolos vazados representam as médias dos valores estimados nos locais estudados no período posterior, sendo o triângulo azul a média dos valores estimados para os locais de controle e o triângulo verde a média dos valores estimados para os locais tratados.

Figura 14.7: Esquema da metodologia utilizada em estudos observacionais transversais



Fonte: adaptado de [13]

Existem duas desvantagens substanciais em um estudo transversal, que limitam a confiabilidade de seus resultados. Em primeiro lugar, esse método não leva em consideração o efeito potencial do viés de regressão para a média, que resulta dos procedimentos de seleção dos locais. Em segundo lugar, é difícil avaliar a relação de causa

e efeito e, portanto, pode não ficar claro se as diferenças nas frequências de acidente estimadas são realmente devido ao tratamento ou a outros fatores [1].

14.3.1.3 *Método de estudos experimentais antes / depois*

Estudos experimentais são realizados quando o principal objetivo da implantação de um projeto é, justamente, quantificar a sua efetividade na redução da ocorrência e/ou severidade dos acidentes. Dessa forma, os locais tratados são selecionados aleatoriamente, dentro de um grupo de locais candidatos (semelhantes em relação aos volumes de tráfego e às características geométricas) e o grupo de controle é formado pelos locais candidatos que não recebem o tratamento.

A principal vantagem do estudo experimental sobre o observacional é que a atribuição aleatória dos locais candidatos aos grupos de tratamento ou de controle minimiza o viés de seleção e, portanto, o viés de regressão para a média. Por outro lado, a principal desvantagem desse tipo de estudo é que os locais são selecionados aleatoriamente para melhorias, podendo resultar em um maior número de vítimas de acidentes do que teria ocorrido se os locais com maior acidentalidade tivessem sido tratados [14].

Os métodos de avaliação de segurança utilizados em avaliações experimentais antes / depois são os mesmos daqueles usados em estudos observacionais antes / depois, descritos no item “14.3.1.1 — Método de estudos observacionais antes / depois”.

14.3.1.4 *Comparação entre os métodos*

A escolha do método de estudo a ser utilizado em uma avaliação de efetividade deve levar em consideração uma série de fatores, como a disponibilidade de informações (dados de acidentes, volumes de tráfego, período de implantação da contramedida etc.) e o nível de sofisticação estatística disponível [14]. Contudo, o principal fator a ser considerado é o objetivo da avaliação da efetividade da contramedida.

Um estudo observacional antes / depois, por exemplo, pode ser conduzido para avaliar a efetividade na redução da frequência ou severidade de acidentes de um único projeto em um local específico. Os resultados dessa avaliação fornecem uma estimativa do efeito que a contramedida (ou o conjunto de contramedidas) teve sobre a segurança

no local estudado. No entanto, os resultados de uma avaliação realizada em um único local não são precisos e a sua significância estatística não pode ser avaliada [1].

Por outro lado, a precisão e a significância estatística dos resultados podem ser determinadas ao avaliar mais de um projeto com a mesma contramedida [1]. Assim, a efetividade obtida pode ser utilizada para estimar a redução na ocorrência de acidentes que a implantação dessa contramedida teria em outros locais. Nesses casos, resultados mais confiáveis da efetividade são alcançados com a realização de estudos observacionais antes / depois com grupos de controle ou pelo uso do método EB, em oposição ao estudo simples, pois conseguem compensar o viés de regressão para a média.

Estudos observacionais transversais são recomendados quando se deseja fazer inferências sobre a efetividade de uma contramedida ou um conjunto de contramedidas que podem ser implementadas em outros locais. Em contrapartida, esse tipo de estudo não é recomendado quando objetiva-se avaliar a segurança e a efetividade de um projeto implementado [1].

O Quadro 14.5 apresenta um resumo dos métodos descritos anteriormente, destacando as vantagens e desvantagens de cada um deles.

Quadro 14.5: Vantagens e desvantagens dos estudos de avaliação da efetividade

Método	Vantagens	Desvantagens	Aplicação
Estudos observacionais antes / depois simples	Aplicação simples.	Não leva em consideração o viés de regressão para a média. Não leva em consideração fatores externos que afetam a frequência de acidentes em diferentes períodos.	Determinar a efetividade quando não é possível levar em consideração locais sem tratamento no período após a implementação do projeto. É necessário utilizar a hipótese simplificadora de que o valor estimado para a frequência de acidentes em locais não tratados no período após a implementação do projeto permanece igual à frequência de acidentes observada no período anterior.



Método	Vantagens	Desvantagens	Aplicação
Estudos observacionais antes / depois com grupo de controle	Leva em consideração os efeitos da regressão para a média e fatores externos, a partir da utilização de um grupo de controle. Assim, considera as alterações que ocorreram no período posterior, independentemente do tratamento implementado.	Resultados confiáveis dependem da seleção de grupos de controle apropriados.	Determinar a efetividade, utilizando grupos de controle apropriados, quando há locais semelhantes nos quais o projeto não será implementado.
Estudos observacionais transversais	Aplicação simples.	Pode atribuir ao projeto alterações na acidentalidade que ocorreram devido a outros fatores. Não leva em consideração o viés de regressão para a média.	Determinar a efetividade quando não for possível realizar uma avaliação antes / depois (por exemplo, quando datas de implementação do projeto não são conhecidas; quando dados de acidente e volume de tráfego para o período anterior à implementação não estão disponíveis; quando é necessário levar em consideração efeitos de alterações na geometria etc.)
Estudos experimentais antes / depois	Elimina os efeitos da regressão para a média e fatores externos, garantindo que os locais de tratamento e comparação estejam sujeitos às mesmas influências. Alto nível de confiança nos resultados.	Locais selecionados aleatoriamente para tratamentos, podendo fugir das políticas de segurança adotadas.	Determinar a efetividade de um projeto específico, implementado justamente com o intuito de quantificar sua efetividade.

Fonte: adaptado de [14]

14.3.2 *Inspeção e manutenção das contramedidas implementadas*

Qualquer projeto de Segurança Viária tem uma vida útil que corresponde ao tempo, em anos, no qual se espera que as contramedidas implementadas tenham um efeito perceptível e quantificável na ocorrência ou na severidade dos acidentes. Algumas contramedidas perdem eficácia ou desempenho com o tempo e precisam ser renovadas. Além disso, modificações na via e no entorno, que podem ocorrer com o passar do tempo, podem influenciar a ocorrência de acidentes, reduzindo a efetividade das contramedidas [1].

Para garantir um nível de Segurança Viária adequado ao longo da vida útil do projeto implementado, é essencial que haja um programa de manutenção dos dispositivos de segurança bem planejado e executado, visto que dispositivos mal instalados ou em estado de conservação inadequado podem representar um risco para os usuários da via. Além disso, inspeções periódicas devem ser realizadas para avaliar a funcionalidade dos dispositivos e elementos de Segurança Viária implantados.

O “Capítulo 12 — Abordagens proativas” trata da realização de inspeções que buscam garantir a segurança da rodovia como um todo, por meio da avaliação de uma gama de elementos presentes na rodovia e no seu entorno. Por outro lado, inspeções de contramedidas devem ser realizadas nos locais específicos onde as contramedidas foram implementadas, de modo a garantir que elementos e dispositivos de segurança, relacionados às contramedidas, atendam aos requisitos de segurança definidos pelo DER/SP e demais normas brasileiras (ou internacionais) que representem o estado da arte.

Inspeções de rotina devem ser realizadas em intervalos regulares, considerando que os dispositivos de segurança se degradam e perdem desempenho ao longo do tempo. A frequência das inspeções deve ser definida com base no tipo de dispositivo, nas condições ambientais e no risco para os usuários da via [16].

Inspeções reativas devem ser realizadas quando serviços de emergência, autoridades rodoviárias, órgãos governamentais ou mesmo usuários da via reportarem ocorrências em um local específico [1]. Com a inspeção reativa, determina-se a magnitude dos danos aos dispositivos de segurança e, então, podem ser realizadas manutenções ou substituições [16].

A implantação de programas de Gestão de Ativos tem se destacado em rodovias no exterior e, mais recentemente, no Brasil. De acordo com essa metodologia, os elementos que compõem o sistema viário, são inspecionados e monitorados com frequência definida, de forma a realizar manutenções, baseadas em modelos de vida útil e/ou vida de serviço. A metodologia é fundamentada na intenção de atuar antes que o elemento da rodovia apresente falha ou perda de funcionalidade. Assim, os programas de Gestão de Ativos podem se apresentar como ferramentas importantes para garantir a funcionalidade de elementos específicos de Segurança Viária.

Por fim, durante a execução dos serviços de manutenção, é necessário garantir a segurança da mão-de-obra e dos usuários da via. Para isso, é importante que haja controle de tráfego na área de influência da obra ou que sejam realizados desvios de tráfego, devidamente sinalizados [17].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Highway Safety Manual**. 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2010.
- [2] BRASIL, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo**. Rio de Janeiro, Brasil, 1998.
- [3] World Road Association (PIARC). **Road Safety Manual: A Guide for Practitioners!** França, 2019.
- [4] ELVIK, Rune et al. **The Handbook of Road Safety Measures**. 2ª edição. Reino Unido, 2009.
- [5] BRASIL, Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), TTC Engenharia de Tráfego e Transportes Ltda. **Estudo do Custo das Externalidades Negativas da Mobilidade das Pessoas nos Vários Modos de Transporte no Brasil**. Vol. 24. Brasil, 2015.
- [6] International Road Assessment Programme (iRAP). **Road Safety Toolkit**. Londres, 21 de abr. de 2021. Disponível em: <http://toolkit.irap.org/>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- [7] BRASIL, Ministério da Economia, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras**. Brasil, 2006.
- [8] MCMAHON, K.; DAHDAH, S. **The True Cost of Road Crashes: Valuing Life and the Cost of a Serious Injury**. Londres: International Road Assessment Programme (iRAP), 2008.
- [9] **Tabela de Preços Unitários — TPU**. Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). Disponível em: <http://200.144.30.103/tpu-internet/>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- [10] SÃO PAULO, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Manual da Conservação: Sistema de Administração da Conservação (SAC)**. São Paulo, Brasil.
- [11] GOLD, Philip Anthony. **Segurança de Trânsito: Aplicações de Engenharia para Reduzir Acidentes**. Estados Unidos, 1998.
- [12] FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto “Coca” et al. **Segurança Viária**. Ed: Suprema Gráfica e Editora. São Carlos, SP, Brasil, 2012.
- [13] HERBEL, Susan; LAING, Lorrie; MCGOVERN, Colleen. **Highway Safety Improvement Program (HSIP) Manual**. Federal Highway Administration, Department of Transportation. Cambridge, MA, Estados Unidos, 2010.
- [14] AUSTRÁLIA, Austroads. **Austroads Research Report: An Introductory Guide for Evaluating Effectiveness of Road Safety Treatments**. Sydney, Austrália, 2012. Disponível em: <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-R421-12>. Acesso em: 17 maio 2021.

- [15] ESTADOS UNIDOS, Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA). **Crash Modification Factors Clearinghouse**. Disponível em: <http://www.cmfclearinghouse.org/index.cfm>. Acesso em: 24 fev. 2022.
- [16] ELAZAR, N.; TOOLE, T.; BOGUMIL, K. **Asset Management Strategy for Road-related Assets (Safety Infrastructure)**. Sydney, Austrália: Austroads, 2018.
- [17] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.



MODELO PARA PREVISÃO DE ACIDENTES

Existe uma forte relação entre a frequência e severidade de acidentes e as características do local onde ocorrem [1]. Isso faz com que acidentes sejam, em parte, previsíveis a partir de determinadas características viárias (físicas, geométricas e operacionais) e sob determinadas condições de exposição e de risco.

O desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes tem por objetivo estabelecer relações matemáticas entre o número provável de acidentes em uma interseção ou segmento da via e suas características físicas, geométricas e operacionais. Tais relações matemáticas diferem conforme a região de estudo, pois a acidentalidade é fortemente influenciada por fatores que vão além das características viárias, como comportamento dos usuários, composição da frota, clima (chuva, neblina etc. aumentam o risco de acidentes), legislação e fiscalização do trânsito (punições rigorosas e fiscalização intensa reduzem a acidentalidade) etc. [1].

Modelos de previsão de acidentes possibilitam a atuação preventiva na promoção da Segurança Viária¹, pois permitem estimar o desempenho de segurança em projetos viários, ainda na fase de concepção e planejamento, antes da sua implantação. Assim, a utilização de modelos de previsão subsidia a análise de diferentes opções de projeto e privilegia alternativas mais seguras.

As estimativas de acidentes são dedicadas à avaliação do potencial de segurança de elementos viários, podendo ser aplicadas para avaliar a efetividade de contramedidas na melhoria da segurança e, também, para selecionar os segmentos viários (ou interseções) que apresentam maior potencial para ocorrência de acidentes e que, portanto, mais se beneficiariam da implantação de medidas de Segurança Viária [2]. Assim, modelos de previsão podem ser empregados com as seguintes finalidades [1]:

- identificação de locais com elevado risco de ocorrência de acidentes, sobretudo de acidentes graves, independentemente da existência de banco de dados prévio, já que modelos de previsão podem ser aplicados sem o histórico de acidentes;
- identificação de fatores de risco para ocorrência de acidentes, a partir da relevância que cada uma das características físicas consideradas no modelo tem na estimativa de acidentes para o segmento ou interseção analisados;
- quantificação da redução da acidentalidade (ocorrência e severidade) resultante da implantação de contramedidas de segurança, a partir da comparação entre a quantidade de acidentes que teria ocorrido sem a aplicação de contramedida e os efeitos da aplicação da contramedida, no mesmo período;
- avaliação dos benefícios da implantação de contramedidas visando a redução da acidentalidade;

¹ A abordagem proativa, em oposição à abordagem reativa, busca alternativas de análise da Segurança Viária para determinar medidas corretivas de segurança, antes que os acidentes ocorram. Para mais detalhes sobre os métodos utilizados na abordagem proativa, consultar o “Capítulo 12 — Abordagens proativas”.

- auxílio na tomada de decisão de ações prioritárias para a redução da acidentalidade, inclusive por meio da avaliação econômica dos benefícios da implementação de contramedidas²;
- subsídio ao projeto de novas vias, ou reabilitação de vias existentes, sob a ótica da segurança.

O desenvolvimento de modelos de previsão é uma tarefa complexa e de custo relativamente alto, pois exige uma longa série histórica confiável de dados de acidentes e a utilização de técnicas estatísticas sofisticadas. O *Highway Safety Manual* (HSM)³ fornece modelos de previsão de acidentes para diferentes tipos de infraestrutura, desenvolvidos por meio de métodos estatísticos modelados a partir de dados de acidentes de diversos locais com características semelhantes [3]. O método apresenta uma etapa de calibração, que permite que os modelos desenvolvidos sejam aplicados em diferentes localidades, inclusive em diferentes países.

Dessa forma, considerando a excelência dos modelos apresentados no HSM, uma boa prática a ser seguida pelos países em desenvolvimento que ainda não desenvolveram seus próprios modelos de previsão (como o Brasil) é utilizar o método apresentado no manual norte-americano, adaptando-o às condições nacionais, ou idealmente, às condições de cada estado ou região, seguindo a metodologia de calibração prescrita [1].

O método preditivo, desenvolvido pelo *Highway Safety Manual*, permite estimar a frequência esperada de acidentes⁴ de uma rede viária em diferentes momentos de um projeto, podendo ser utilizado para avaliar a situação existente, condições alternativas à situação atual (por exemplo, melhorias ou contramedidas de segurança propostas) ou projetos de novas rodovias. Assim, possibilita comparar diferentes propostas de contramedidas com as situações existentes. Além disso, o método do HSM permite estimar a frequência de acidentes por tipologia ou severidade do acidente.

² Para mais detalhes sobre os métodos utilizados em avaliações econômicas, consultar o “Capítulo 14 — Avaliação econômica e monitoramento de projetos implantados”.

³ A metodologia de previsão de acidentes apresentada neste capítulo é baseada na primeira edição do *Highway Safety Manual* (HSM), publicada em 2010, e considera o suplemento publicado em 2014. Para atualizações do método, assim como revisões das equações e dos fatores aplicados, consultar a versão mais recente publicada do manual norte-americano.

⁴ O termo “frequência de acidentes”, utilizado no método preditivo do HSM, refere-se ao número total de acidentes em determinado período.

As principais vantagens da aplicação do método preditivo do HSM para estimar a frequência de acidentes são [3]:

- o viés de regressão para a média é levado em consideração, pois o método se concentra na média de longo prazo da frequência esperada de acidentes, ao invés da frequência de acidentes observada de curto prazo;
- a dependência da disponibilidade de dados de acidentes para um elemento viário individual é reduzida por meio da incorporação de relações preditivas com base em dados de locais semelhantes;
- os modelos matemáticos do HSM são baseados em modelos de distribuição mais adequados para estimar a alta variabilidade dos dados de acidentes (distribuição binomial negativa) do que as técnicas de modelagem tradicionais (distribuição normal);
- o método preditivo fornece um modelo de estimativa de acidentes para locais que ainda não foram construídos ou não estão em operação, a tempo suficiente para permitir uma estimativa com base em dados de acidentes observados em locais semelhantes.

15.1 Metodologia do HSM

O método preditivo fornece uma estimativa estatisticamente confiável da frequência de acidentes, dentro dos limites definidos para a rede ou infraestrutura viária e ao longo de um período, conforme as características geométricas e operacionais e os volumes de tráfego locais. A estimativa inicial do método se baseia em modelos de regressão, chamados de Funções de Desempenho de Segurança (em inglês, *Safety Performance Functions* — SPFs). Esses modelos são desenvolvidos para diferentes tipos de elementos viários, a partir de dados de acidentes observados e levam em consideração características físicas, geométricas e operacionais (elementos de controle de tráfego), que são definidas como condições base para os modelos [3].

A fim de contabilizar diferenças entre as condições base e as condições específicas do local analisado, o método prevê a utilização de Fatores de Modificação de Acidentes

(em inglês, *Crash Modification Factors* — CMFs). Além disso, um Fator de Calibração (em inglês, *Calibration Factor* — C) é aplicado para contabilizar outras diferenças entre as regiões, como diferenças comportamentais dos usuários da via. Assim, para um determinado local, o método preditivo assume a forma geral mostrada na Equação 15.1. [3].

$$N_{\text{estimado}} = N_{\text{spf}} \times (CMF_1 \times CMF_2 \times \dots \times CMF_n) \times C \quad \text{Eq. 15.1}$$

Onde:

N_{estimado} = frequência de acidentes estimada pelo método preditivo em um ano específico;

N_{spf} = frequência de acidentes estimada para as condições base de uma SPF, desenvolvida para o tipo de local analisado;

CMF_n = Fatores de Modificação de Acidentes do local para a SPF;

C = Fator de Calibração para as condições locais;

A frequência estimada de acidentes em um elemento viário individual (N_{estimado}) é considerada para um determinado período de interesse, medido em anos, durante o qual as características geométricas e os elementos de controle de tráfego permanecem inalterados e os volumes de tráfego são conhecidos ou podem ser previstos. Para um local ou infraestrutura viária existente, com histórico de acidentes disponível e confiável, a frequência de acidentes observada ($N_{\text{observado}}$) pode ser combinada à frequência estimada (N_{estimado}) para melhorar a confiabilidade estatística desse valor, por meio do método Empírico de Bayes⁵.

O resultado do método preditivo é a frequência esperada de acidentes (N_{esperado}) no local estudado, obtida após a aplicação do método Empírico de Bayes [3]. Esses valores podem ser utilizados para diferentes propósitos, como:

- triagem de uma rede viária para classificar os locais e identificar aqueles com maior probabilidade de responder a uma melhoria de segurança;
- avaliar a efetividade de contramedidas após sua implantação;

⁵ O detalhamento do método é apresentado no item “15.2.6 — Método Empírico de Bayes” presente neste Capítulo.

- estimar a efetividade de contramedidas propostas em uma infraestrutura viária existente.

15.2 Fundamentos do método preditivo

Para a aplicação do método preditivo, inicialmente, é de suma importância compreender alguns fundamentos. Funções de Desempenho de Segurança (SPFs), Fatores de Modificação de Acidentes (CMFs), Fatores de Calibração (C) e o método Empírico de Bayes são fundamentos que devem estar esclarecidos, uma vez que correspondem a importantes etapas da aplicação do método.

Além disso, os conceitos de limite da área de estudo, tipos de infraestrutura viária e elemento viário, assim como a influência de cada um desses conceitos no emprego do método preditivo, também devem ser entendidos para que o método possa alcançar bons resultados. Todos esses fundamentos são apresentados na sequência.

15.2.1 Limites da área de estudo e tipos de infraestrutura viária

O método preditivo pode ser utilizado para estimar a frequência esperada de acidentes em diferentes áreas, que podem ser (i) um elemento viário individual, (ii) uma infraestrutura viária (conjunto contíguo de elementos viários individuais) ou (iii) uma rede viária (conjunto contíguo de infraestruturas viárias). Independentemente da área total de estudo, os modelos de previsão devem ser aplicados em cada elemento viário separadamente, podendo esse ser um segmento viário homogêneo ou uma interseção (conforme definidos no item 15.2.2 — Elementos viários”). Com os resultados obtidos para cada local, é possível estimar a frequência de acidentes em uma infraestrutura ou mesmo em toda uma rede viária.

Na primeira Etapa do método preditivo do HSM⁶, a extensão e os limites do trecho avaliado são definidos a partir da natureza do estudo e os tipos de infraestrutura dentro

⁶ As etapas do método preditivo são detalhadas no item “15.3 — Procedimento para aplicação do método preditivo”.

desses limites são identificados. O HSM fornece diferentes metodologia para três tipos de infraestrutura viária:

- (i) rodovias de pista simples (duas faixas e dois sentidos);
- (ii) rodovias de pista dupla (duas ou mais faixas por sentido);
- (iii) vias arteriais urbanas e suburbanas.

Segundo o HSM, as rodovias de pista simples ou dupla se localizam em áreas rurais, enquanto as vias arteriais podem se localizar em áreas urbanas ou suburbanas⁷. Além desses três tipos de infraestrutura, o HSM também fornece uma metodologia para estimar a frequência de acidentes em alças de conexão entre duas ou mais rodovias em interseções.

15.2.2 Componentes do sistema viário

Existem dois tipos de componentes viários que podem estar presentes na área selecionada para a aplicação do método preditivo: segmentos homogêneos e interseções.

Segmentos homogêneos são trechos da via com características físicas, geométricas e de tráfego uniformes, que fornecem operação bidirecional de tráfego e que não são interrompidos por uma interseção [3]. Um segmento homogêneo se inicia no centro de uma interseção e termina no centro da próxima interseção ou no início de outro segmento homogêneo.

Os critérios específicos de divisão dos segmentos homogêneos são diferentes para cada tipo de infraestrutura viária e não há limitação para a extensão máxima dos segmentos. O manual norte-americano recomenda, apenas, que os segmentos homogêneos não tenham comprimento inferior a, aproximadamente, 160 metros [2].

⁷ A classificação de uma área como urbana, suburbana ou rural está sujeita às características da via, à população circundante e aos usos do solo. No HSM, a definição de áreas urbanas e rurais é baseada nas diretrizes da Administração Rodoviária Federal (FHWA), que classifica áreas urbanas como locais dentro de limites urbanos onde a população é superior a 5.000 pessoas e áreas rurais como lugares fora das áreas urbanas onde a população é inferior a 5.000 [2]. O HSM usa o termo “suburbano” para se referir a partes periféricas de uma área urbana. Contudo, o método preditivo não faz distinção entre áreas urbanas e suburbanas.

Interseções são definidas como a área de confluência, entroncamento ou cruzamento de duas ou mais vias [4].

Os modelos preditivos para segmentos homogêneos estimam os acidentes que teriam ocorrido na rodovia se nenhuma interseção estivesse presente. Os modelos preditivos para interseções estimam os acidentes adicionais que ocorrem devido à presença da interseção. Nesse caso, os acidentes podem ocorrer dentro dos limites da própria interseção ou no seu entorno [3].

Assim, a atribuição do histórico de acidentes a cada elemento viário (ou seja, a cada segmento homogêneo ou interseção) é realizada do seguinte modo:

- acidentes que ocorrem dentro dos limites de uma interseção são atribuídos a essa interseção;
- acidentes que ocorrem fora dos limites da interseção, mas dentro de sua área de influência, podem ser atribuídos ou ao segmento em que ocorrem ou à interseção, dependendo de suas características;
- acidentes que ocorrem em um segmento homogêneo, fora da área de influência de interseções, são atribuídos a esse segmento.

A atribuição de cada acidente a um elemento viário é baseada em informações presentes nos relatórios de acidentes, como tipo de acidente, número de veículos envolvidos, condições climáticas, condições do pavimento, entre outras. Colisões traseiras devido à diferença de velocidade entre as faixas de rolamento e faixas de aceleração/desaceleração em acessos, por exemplo, são acidentes relacionados à interseção. Por outro lado, saídas de pista, colisão com objetos fixos ou acidentes decorrentes de mudanças de faixa não são relacionados a interseções, mesmo quando ocorrem em sua área de influência, e, portanto, devem ser atribuídos a segmentos homogêneos.

15.2.3 *Funções de Desempenho de Segurança (SPFs)*

No HSM, a previsão inicial do número de acidentes para elementos viários com características geométricas, físicas e operacionais preestabelecidas, referidas como condições

base, é feita mediante o emprego de expressões denominadas Funções do Desempenho da Segurança (em inglês, *Safety Performance Functions* — SPFs) [1].

As SPFs presentes no HSM foram desenvolvidas por meio de técnicas estatísticas de regressão múltipla, utilizando dados históricos de acidentes coletados ao longo de vários anos em locais com características semelhantes. No modelo de regressão utilizado, a frequência de acidentes é a variável dependente, e as variáveis independentes são o Volume Diário Médio (VDM) de veículos que trafegam na via e, no caso de segmentos homogêneos, a extensão do elemento viário em análise [2].

Além das SPFs, o HSM fornece os coeficientes de regressão relacionados a cada SPF, as condições base para as quais a SPF foi desenvolvida, o intervalo de VDM para o qual a SPF é válida e o parâmetro de dispersão associado (k)⁸ — utilizado na aplicação do método Empírico de Bayes. A Equação 15.2 exemplifica a forma geral de uma SPF para segmentos de rodovias de pista dupla de múltiplas faixas com separação física.

$$N_{spf} = e^{\left(a + b \times \ln(VDM) + \ln\left(\frac{L}{1,609}\right)\right)} \quad \text{Eq. 15.2}$$

Onde:

N_{spf} = frequência estimada de acidentes (variável dependente) para as condições base de um segmento homogêneo no período de um ano;

VDM = Volume Diário Médio no segmento, em veículos/dia;

L = extensão do segmento, em quilômetros;

a e b são coeficientes de regressão do modelo;

e = número de Euler.

Os resultados obtidos por meio da aplicação de SPFs devem ser ajustados para refletir as condições específicas de cada elemento viário sob análise, uma vez que as SPFs foram desenvolvidas para condições base pré-estabelecidas. Esses ajustes são

⁸ Cada SPF tem um parâmetro de dispersão associado (k), que fornece uma indicação da confiabilidade estatística da função. Quanto mais próximo o parâmetro de dispersão estiver de zero, mais confiável estatisticamente será a SPF.

realizados por meio de Fatores de Modificação de Acidentes e Fatores de Calibração, explicados nos itens 15.2.4 e 15.2.5, respectivamente.

O HSM destaca que é possível desenvolver novas SPFs a partir de dados da própria região de estudo, ao invés de utilizar as SPFs fornecidas no manual norte-americano com os ajustes necessários. Além disso, alguns valores padrão dos modelos preditivos — como a distribuição de acidentes por tipo, severidade ou a proporção de acidentes que ocorre no período noturno — podem variar substancialmente de um local para outro e, portanto, podem ser substituídos a partir das informações específicas do local.

Ressalta-se que, quando não for possível substituir todos os valores padrão do modelo por informações específicas do local, é possível substituir apenas alguns deles, pois cada valor atualizado implica em uma pequena melhoria na confiabilidade do método. Todas as substituições devem ser realizadas antes da etapa de calibração [3].

No entanto, não é recomendada a modificação dos coeficientes de regressão (a e b, na Equação 15.2), usados nos modelos preditivos [3]. O Apêndice A do HSM fornece orientações sobre o desenvolvimento de SPFs locais e destaca quais valores das SPFs fornecidas podem ser substituídos por valores derivados localmente, como também, apresenta procedimentos para desenvolver cada um deles [3].

15.2.4 *Fatores de Modificação de Acidentes (CMFs)*

Caso o elemento viário estudado não tenha exatamente as mesmas características (físicas, geométricas e operacionais) do elemento viário para o qual a SPF utilizada foi desenvolvida, é necessário aplicar Fatores de Modificação de Acidentes (em inglês, *Crash Modification Factors* — CMFs). Cada fator traduz uma característica geométrica ou operacional que influencia na ocorrência de acidentes, como a largura das faixas de rolamento ou a declividade de taludes laterais.

Um CMF representa a mudança relativa na frequência estimada de acidentes devido a uma modificação em uma condição específica do local quando todas as outras condições permanecem constantes. Assim, a estimativa da frequência de

acidentes para as condições base⁹, determinada pela SPF, deve ser multiplicada por uma série de CMFs para ser ajustada às condições do local analisado, como mostra a Equação 15.3.

$$N_{\text{real}} = N_{\text{spf}} \times (\text{CMF}_1 \times \text{CMF}_2 \times \dots \times \text{CMF}_n) \quad \text{Eq. 15.3}$$

Para empregar os CMFs de forma multiplicativa, supõe-se a independência dos efeitos das características que eles representam. Contudo, há uma limitação na compreensão das inter-relações entre diferentes características que requer atenção, uma vez que o efeito combinado de vários tratamentos pode ser superestimado quando mais de um deles afetar o mesmo tipo de acidente [3]. Uma maneira de compensar as tendências que podem ocorrer pela falta de independência dos CMFs é o uso de dados de acidentes observados na estimativa da frequência de acidentes, por meio do método Empírico de Bayes.

CMFs também podem ser utilizados no estudo de tratamentos ou contramedidas que podem ser implantadas futuramente. Nesse caso, não existem dados de acidentes observados e o julgamento da engenharia é necessário para avaliar a independência das características que podem influenciar a ocorrência de acidentes [3].

As características para as quais devem ser adotados Fatores de Modificação de Acidentes variam conforme o tipo de rodovia e o tipo de elemento viário (segmento ou interseção) [1]. Os CMFs que devem ser considerados no método preditivo em rodovias, segundo o HSM¹⁰, são listados a seguir [3]:

- Segmentos homogêneos:
 - largura da faixa de rolamento;
 - largura do acostamento;

⁹ As condições base dos modelos preditivos referem-se a características físicas, geométricas e operacionais (elementos de controle de tráfego) consideradas no desenvolvimento de cada SPF. Nos capítulos 10, 11, 18 e 19 do HSM, são identificadas as características geométricas e os elementos de controle de tráfego considerados em cada SPF e seus valores base.

¹⁰ Os Capítulos 10, 11, 18 e 19 do HSM fornecem valores de CMFs para diferentes tipos de rodovias e elementos viários [3].

- tipo de revestimento do acostamento (pavimentado, terra etc.);
- largura do canteiro central;
- declividade dos taludes laterais;
- curva horizontal (comprimento, raio, existência ou não de curva de transição, superelevação);
- declividade longitudinal;
- densidade de acessos;
- presença ou ausência de sonorizador ao longo do eixo longitudinal;
- presença ou ausência de faixas adicionais;
- presença ou ausência de faixa central para conversão à esquerda;
- características da lateral da via (largura livre de obstáculos etc.);
- presença ou ausência de iluminação;
- presença ou ausência de fiscalização eletrônica de velocidade.

– Interseções:

- ângulo da interseção (escondidade);
- presença ou ausência de faixas de conversão à esquerda na via principal;
- presença ou ausência de faixas de conversão à direita na via principal;
- iluminação.

Evidentemente, esses fatores não retratam todas as possíveis condições existentes, que podem ser diferentes dos locais para os quais as SPFs foram desenvolvidas. Isso se dá pelo fato de algumas situações não serem completamente conhecidas, por alguns aspectos não serem quantificáveis ou por não serem relevantes estatisticamente [5].

Os CMFs podem ser fornecidos diretamente, por meio de valores numéricos, ou mediante expressões, tabelas ou gráficos. O *Crash Modification Factors Clearinghouse*¹¹ abriga um banco de dados atualizado com diversos CMFs e oferece orientações sobre seu uso na prática.

¹¹ Disponível em: <http://www.cmfclearinghouse.org/> Acesso em: 22 nov. 2022.

15.2.5 Fator de Calibração (C)

O método preditivo do HSM é composto por três elementos fundamentais: Funções de Desempenho de Segurança, Fatores de Modificação de Acidentes e um Fator de Calibração (em inglês, *Calibration Factor* — C).

A frequência de acidentes pode variar, substancialmente, de uma região para outra, e isso ocorre por uma variedade de razões, como diferenças no comportamento dos usuários da via, na legislação, na fiscalização ou em condições ambientais. O Fator de Calibração tem como objetivo incorporar essas diferenças locais à frequência estimada de acidentes, quando o método preditivo é empregado em regiões e, especialmente, em países diferentes daqueles para os quais as SPFs foram desenvolvidas.

O Fator de Calibração deve ser obtido separadamente para segmentos homogêneos (Cr) e interseções (Ci), pela razão entre a frequência observada de acidentes e a frequência estimada de acidentes, considerando um conjunto amostral significativo de locais, durante um mesmo período [1]. O procedimento de calibração do HSM envolve cinco etapas [3]:

- (1) Identificação do tipo de infraestrutura viária e elemento viário: a calibração é realizada separadamente para cada tipo de infraestrutura viária e elemento viário, e deve ser feita antes do uso das SPFs.
- (2) Seleção dos locais para a calibração das SPFs: para a caracterização de uma região (para cada tipo de infraestrutura viária e elemento viário), o número mínimo de elementos viários individuais desejáveis para um conjunto de dados de calibração é de 30 a 50 locais, devendo apresentar um total de pelo menos 100 acidentes por ano. Esses locais devem ser selecionados aleatoriamente de um grupo de locais candidatos com características similares e nunca em função de índices de accidentalidade. Essa etapa de seleção dos locais para a calibração deve utilizar os mesmos locais selecionados em calibrações subsequentes.
- (3) Obtenção de dados para o período de interesse (características geométricas e operacionais e histórico de acidentes): para cada local, o conjunto de dados de calibração deve incluir a frequência de acidentes total observada em um período (período de calibração) e os dados característicos do local

necessários para a aplicação do método preditivo. O período de calibração deve corresponder ao período em que será aplicado o método preditivo, não sendo superior a três anos e tendo duração múltipla de 12 meses para evitar efeitos sazonais. No Apêndice A do HSM são listadas as características locais necessárias para aplicação do método preditivo para cada tipo de elemento viário.

- (4) Aplicação do método preditivo: estimar a frequência de acidentes esperada em cada local durante o período de calibração. O método preditivo deve ser aplicado sem realizar as etapas do método Empírico de Bayes e assumindo um fator de calibração igual a 1,00, para o período de calibração selecionado.
- (5) Cálculo do Fator de Calibração: obtido pela razão entre a frequência observada de acidentes e a frequência esperada de acidentes (método preditivo) em um mesmo grupo de elementos viários e durante o mesmo período, conforme a Equação 15.4.

$$C_r \text{ (ou } C_i) = \frac{\sum_{\text{locais considerados}} \text{acidentes observados}}{\sum_{\text{locais considerados}} \text{acidentes previstos}} \quad \text{Eq. 15.4}$$

Assim, quando as frequências observadas e estimadas de acidentes são iguais, o Fator de Calibração assume o valor 1,00. Se a região for menos favorável, do ponto de vista da segurança, o Fator de Calibração resulta maior que 1,00. Se for mais favorável, o Fator de Calibração resulta menor que 1,00.

O HSM recomenda que novos Fatores de Calibração sejam obtidos pelo menos a cada dois ou três anos e que, para avaliações de projetos futuros, seja utilizado o Fator de Calibração disponível para o período mais recente.

15.2.6 Método Empírico de Bayes

Um refinamento dos resultados obtidos com o emprego de Funções de Desempenho de Segurança, Fatores de Modificação de Acidentes e Fatores de Calibração pode ser

realizado mediante a aplicação do método Empírico de Bayes (EB)¹², que permite combinar os acidentes observados e a frequência estimada de acidentes, com o intuito de compensar o potencial viés da regressão para a média¹³.

Sabe-se que flutuações na frequência de acidentes são esperadas ao longo dos anos em uma via e os valores variam aleatoriamente em torno de um valor médio para um determinado período. Essa variação natural pode ser confundida como consequência de um projeto implantado, sendo o método EB uma importante ferramenta para auxiliar na compensação desse viés. Além disso, o método EB também pode ajudar na compensação do viés causado pela dependência entre diferentes CMFs [3], proporcionando, a partir destas compensações, uma maior consistência estatística na estimativa de acidentes do modelo preditivo.

O manual norte-americano recomenda que seja utilizado um histórico de acidentes com um período mínimo de dois anos e que, no período de análise, as características geométricas e operacionais da via tenham sido mantidas [2]. Assim, o método EB não pode ser aplicado em três situações: (i) nos casos em que não há dados de acidentes disponíveis; (ii) em projetos nos quais um novo alinhamento for desenvolvido — para uma proporção substancial do trecho analisado; ou (iii) em interseções nas quais o número de aproximações ou tipo de controle de tráfego for alterado no período de análise.

A aplicação do método EB pode ser realizada em cada elemento viário individual ou em um conjunto de elementos, sendo os melhores resultados obtidos com os dados desagregados para cada elemento que compõe a rede viária. Atualmente, com o georreferenciamento de dados de acidentes, a aplicação do método EB em elementos viários individuais tem se tornado cada vez mais fácil.

Nos casos de aplicação do método EB em cada elemento viário (ver Etapa 13 definida no item “15.3 — Procedimento para aplicação do método preditivo”), os acidentes observados devem ser atribuídos a cada segmento homogêneo ou interseção, conforme as recomendações apresentadas no item “15.2.2 — Elementos viários”.

¹² Mais informações sobre a aplicação e etapas do método EB podem ser encontradas no HSM [3] e nas publicações de Hauer [6], [7] (destacadas no próprio manual norte-americano).

¹³ O conceito de regressão para média é explicado no “Capítulo 5 — Uso e tratamento de dados de acidentes”.

O método EB é aplicado em cada elemento da rede viária por meio da Equação 15.5 e tem como resultado a frequência esperada de acidentes, $N_{esperado}$. O cálculo do fator ponderado (w), utilizado para combinar as frequências de acidentes observada e estimada, é apresentado na Equação 15.6. Esse parâmetro é obtido em função do parâmetro de dispersão, k , relacionado a cada equação das SPFs, sendo que, quanto menor o valor do parâmetro k , maior a confiabilidade dos resultados do método.

$$N_{esperado} = w \times N_{estimado} + (1 - w) \times N_{observado} \quad \text{Eq. 15.5}$$

$$w = \frac{1}{1 + k \times \left(\sum_{\text{período estudado}} N_{estimado} \right)} \quad \text{Eq. 15.6}$$

Onde:

$N_{esperado}$ = frequência de acidentes esperada para o período de estudo (método EB);

$N_{estimado}$ = frequência de acidentes estimada para o período de estudo;

$N_{observado}$ = frequência de acidentes observada no local durante o período de estudo;

w = fator ponderado a ser aplicado para combinar as frequências de acidentes observada e estimada;

k = parâmetro de dispersão associado à SPF.

Na impossibilidade de atribuir os dados de acidentes observados a cada elemento viário individual sob análise, o método EB pode ser aplicado no projeto como um todo, agrupando todos os elementos viários (ver Etapa 15 definida no item “15.3 — Procedimento para aplicação do método preditivo”). Nesse caso, o procedimento se torna mais complexo, apresentando algumas particularidades.

Primeiramente, o parâmetro de dispersão, k , não é definido exclusivamente. Ou seja, um único parâmetro de dispersão não pode ser determinado, uma vez que esse valor é associado a cada SPF e, ao considerar o projeto como um todo, são selecionados

diferentes tipos de elementos individuais, resultando na aplicação de diferentes SPFs. Em segundo lugar, não se pode presumir que as frequências esperadas de acidentes, para diferentes elementos viários, sejam estatisticamente correlacionadas entre si. Em vez disso, deve-se estimar uma frequência de acidentes com base na suposição de que os vários segmentos e interseções são estatisticamente independentes e na suposição alternativa de que eles estão perfeitamente correlacionados. A frequência esperada de acidentes é então calculada como a média das estimativas dependentes e independentes. A seqüência de cálculo para este procedimento é apresentada no HSM [3].

O método EB também pode ser aplicado para projetar a frequência de acidentes em períodos futuros, sendo utilizado em processos de triagem de rede (em inglês, *Network Screening*), na avaliação da efetividade de contramedidas e na tomada de decisão de alternativas de projeto [2]. Este procedimento só é aplicável se as condições do projeto proposto não forem substancialmente diferentes das vias existentes. Assim, o método EB para períodos futuros pode ser aplicado a [3]:

- elementos viários que mantenham suas características geométricas e operacionais (com exceção do VDM, parâmetro em que alterações são esperadas);
- projetos com pequenas alterações na seção transversal, como alargamento do acostamento;
- projetos com pequenas alterações no alinhamento;
- projetos com inclusão de faixa adicional de ultrapassagem com extensão limitada.

A frequência esperada de acidentes para um período futuro é estimada a partir da frequência obtida com a aplicação do método EB para um período passado, multiplicada por fatores que buscam atualizar a estimativa sob as condições da projeção futura, considerando: diferenças na duração dos períodos analisados; variação dos VDMs; e mudanças nas características geométricas ou de controle de tráfego que afetam os valores dos CMFs.

A Equação 15.7 fornece a estimativa da frequência esperada de acidentes no período futuro :

$$N_f = N_p \left(\frac{N_{bf}}{N_{bp}} \right) \left(\frac{CMF_{1f}}{CMF_{1p}} \right) \left(\frac{CMF_{2f}}{CMF_{2p}} \right) \dots \left(\frac{CMF_{nf}}{CMF_{np}} \right) \quad \text{Eq. 15.7}$$

Onde:

N_f = frequência de acidentes esperada durante o período futuro;

N_p = frequência de acidentes esperada durante o período passado (no qual o histórico de acidentes observados estava disponível), obtida com a aplicação do método EB;

N_{bf} = frequência de acidentes estimada, obtida pela aplicação da SPF, usando VDM do período futuro;

N_{bp} = frequência de acidentes estimada, obtida pela aplicação da SPF, usando VDM do período passado;

CMF_{nf} = valor do enésimo CMF para as condições geométricas planejadas para período futuro (projeto proposto);

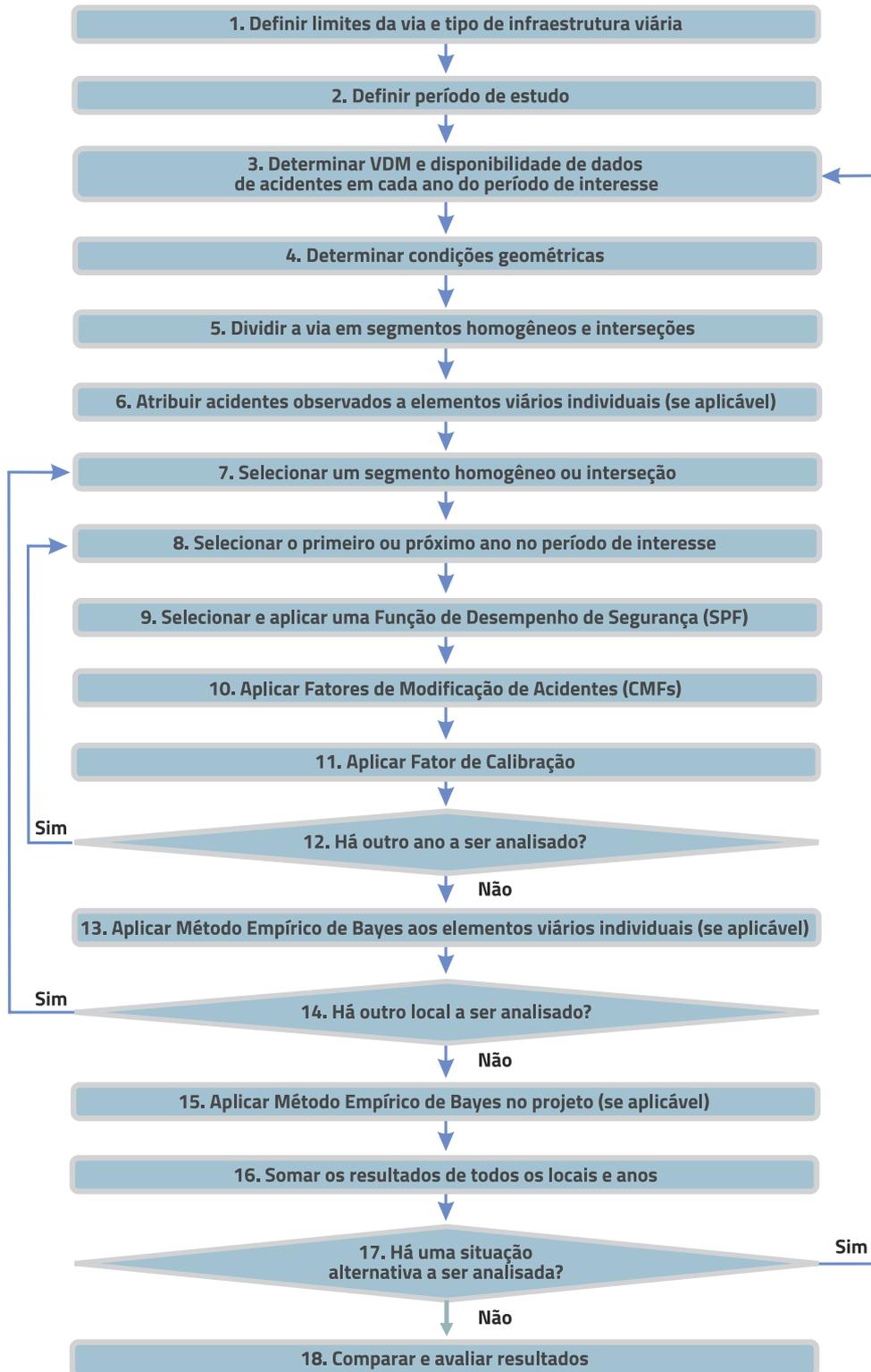
CMF_{np} = valor do enésimo CMF para as condições geométricas do período passado (condição existente);

Ao aplicar essa equação, os valores de N_b e CMF_n referentes aos períodos passado e futuro devem considerar a média de valores de VDM durante os respectivos períodos.

15.3 Procedimento para aplicação do método preditivo

Com os elementos que fundamentam o método preditivo definidos, esse capítulo apresenta o processo para sua aplicação. O método preditivo consiste em um procedimento de dezoito etapas para estimar a frequência de acidentes em (i) um elemento viário individual, (ii) uma infraestrutura viária ou (iii) uma rede viária como um todo. A Figura 15.1 apresenta o fluxograma com as dezoito etapas do método.

Figura 15.1: Etapas do método preditivo do HSM



Fonte: traduzido de [3]

A depender da situação analisada, algumas etapas podem não ser aplicáveis, enquanto outras devem ser repetidas. Por exemplo, se um novo projeto de contramedida não tiver dados observados de acidentes, as etapas relacionadas ao método EB não poderão ser executadas. Por outro lado, algumas etapas podem ser repetidas quando o período analisado se estende por mais de um ano.

Os modelos preditivos associados a cada tipo de infraestrutura rodoviária e informações detalhadas para cada etapa são fornecidos nos Capítulos 10, 11, 18 e 19 do HSM¹⁴. Na Etapa 1, devem ser definidos os limites da rodovia, de acordo com a natureza do estudo, podendo limitar-se a apenas um elemento viário ou a um grupo de diferentes elementos contíguos (infraestrutura ou rede viária).

Na Etapa 2, determina-se o período de estudo a partir da disponibilidade de dados de volume de tráfego (observados ou estimados) e de acidentes ocorridos, além de informações sobre as características geométricas e operacionais dos elementos viários. O período de análise deve ser sempre medido em anos, podendo ser um período passado ou futuro, conforme a finalidade do estudo.

A Etapa 3 requer a definição do Volume Diário Médio de tráfego (VDM) no período de interesse. Para os segmentos homogêneos, o VDM é o volume diário médio de tráfego bidirecional nesse segmento, em cada ano do período a ser analisado. No caso de interseções, são necessários os diferentes valores de VDM para as vias principais e secundárias.

Para um período passado, o VDM pode ser obtido por meio de registros ou pesquisas de contagem. Para um período futuro, o VDM pode ser estimado com modelos de previsão de volume de tráfego adequados, baseados no planejamento de uso do solo ou a partir da suposição de que os volumes de tráfego permanecem relativamente constantes no período de análise. Nos casos em que dados de VDM não estão disponíveis

¹⁴ Nos capítulos do HSM são apresentadas SPFs, CMFs e informações detalhadas para a aplicação das etapas do método preditivo para os seguintes locais: Capítulo 10 — segmentos homogêneos e interseções em rodovias de pista simples; Capítulo 11 — segmentos homogêneos e interseções em rodovias de pista dupla de múltiplas faixas (multilane); Capítulo 18 — segmentos homogêneos e interseções em rodovias de pista dupla expressas (freeway); Capítulo 19 — alças de conexão entre duas ou mais rodovias em interseções. Além desses capítulos, voltados para o ambiente rodoviário, o Capítulo 12 do HSM apresenta informações para a aplicação do método em vias urbanas e suburbanas.

para todos os anos do período de análise, deve-se estimar um VDM para cada ano por interpolação ou extrapolação, a depender dos dados disponíveis.

Ainda na Etapa 3, deve-se verificar a disponibilidade de dados de acidentes com o objetivo de determinar a aplicabilidade do método EB — seja em elementos viários individuais (Etapa 13) ou no projeto como um todo (Etapa 15). Os dados observados podem ser obtidos diretamente do sistema de relatório de acidentes da região analisada, sendo desejável, pelo menos, dois anos de dados para aplicação do método. Caso os dados de acidentes não estejam disponíveis, as Etapas 6, 13 e 15 do método preditivo não devem ser realizadas.

Na Etapa 4, as características geométricas e operacionais da via são determinadas. A partir dessas características e das informações obtidas nas etapas anteriores, na Etapa 5 a rede viária é dividida em elementos viários individuais (segmentos homogêneos e interseções).

A Etapa 6 depende da aplicabilidade do método EB. Nessa etapa, os acidentes observados devem ser atribuídos a cada elemento viário individual. Os critérios para a atribuição dos acidentes a segmentos homogêneos e interseções são fornecidos nos itens "15.2.2 — Elementos viários" e "15.2.6 — Método Empírico de Bayes". Caso não seja possível realizar a atribuição, deve-se prosseguir para a Etapa 7.

As Etapas 7 a 14 conduzem o cálculo do N_{estimado} para cada elemento viário e para cada ano do período de interesse. Nas Etapas 7 e 8, são selecionados o local de análise e o período de interesse, respectivamente. Para cada local selecionado, deve-se analisar cada ano isoladamente. Na sequência, nas Etapas 9, 10 e 11, respectivamente, são selecionadas e aplicadas as Funções de Desempenho de Segurança (SPFs) adequadas à cada caso, os Fatores de Modificação de Acidentes (CMFs) apropriados e o Fator de Calibração regional (C).

A Etapa 12 permite a seleção de outros anos do período de estudo no local selecionado. Assim, se houver outro ano a ser avaliado no período de estudo, deve-se retornar à Etapa 8. Caso contrário, deve-se prosseguir para a Etapa 13.

Se o método EB for aplicável a cada elemento viário individual (conforme determinado na etapa 3), este procedimento deve ser realizado na Etapa 13. Caso contrário, deve-se prosseguir à Etapa 14, na qual um novo elemento da área de estudo deve ser

selecionado, voltando então à Etapa 7 e repetindo o procedimento. Quando não existir outro elemento viário a ser analisado, deve-se prosseguir para a etapa seguinte.

A Etapa 15 é aplicada nos casos em que os históricos de acidentes estão disponíveis, porém não podem ser atribuídos com precisão a cada elemento viário separadamente por serem incompletos ou pouco precisos. Nesse caso, o método EB é aplicado no projeto como um todo e não em elementos viários individuais, como é feito na Etapa 13.

Na Etapa 16, finalizando a aplicação do método de previsão de acidentes, os resultados de todos os elementos viários individuais para cada ano são somados, determinando o número total de acidentes esperado ao longo de todos os elementos analisados durante o período do estudo (Equação 15.8). A frequência esperada de acidentes da rede viária em análise é obtida por meio da divisão do número total de acidentes esperado pelo número de anos do estudo (Equação 15.9).

$$N_{\text{total}} = \sum \text{segmentos } N_s + \sum \text{interseções } N_i \quad \text{Eq. 15.8}$$

$$N_{\text{médio}} = \frac{N_{\text{total}}}{n} \quad \text{Eq. 15.9}$$

Onde:

N_{total} = número de acidentes total esperado para todos os anos no período de interesse, ou seja, soma da frequência de acidentes esperada para cada ano e para cada local;

N_s = frequência de acidentes esperada para um segmento em um ano, obtida com a aplicação do método preditivo;

N_i = frequência de acidentes esperada para uma interseção em um ano, obtida com a aplicação do método preditivo;

$N_{\text{médio}}$ = frequência de acidentes média esperada no período de estudo;

n = número de anos no período de estudo.

Na Etapa 17, verifica-se a existência de alguma alternativa para a área em estudo, como uma modificação na via, uma contramedida a ser implementada, diferentes cenários de volumes de tráfego ou novos empreendimentos. Caso sejam identificadas alternativas às condições iniciais, as Etapas 3 a 16 devem ser repetidas para cada alternativa.

Por fim, na Etapa 18, é possível avaliar os resultados obtidos e comparar as diferentes alternativas.

BOX 1

FERRAMENTAS PARA AUXILIAR NA APLICAÇÃO DO MÉTODO PREDITIVO DO HSM



Para auxiliar nos cálculos complexos envolvidos na aplicação do método do HSM, a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), a *Federal Highway Administration* (FHWA) e o *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) desenvolveram uma seleção de ferramentas, projetadas para serem utilizadas em conjunto com o manual norte-americano [8].

A FHWA desenvolveu um *software* — disponível gratuitamente — chamado *Interactive Highway Safety Design Model* (IHSDM), que incorpora os métodos analíticos para todos os tipos de infraestrutura viária presentes no HSM [8].

Estudos do NCHRP originaram planilhas eletrônicas que auxiliam na implementação do método preditivo do manual norte-americano [8]. Essas planilhas foram elaboradas para cada tipo de infraestrutura viária presente no HSM e passam por atualizações e melhorias ocasionais, realizadas pela AASHTO. As planilhas são disponibilizadas de forma gratuita e podem ser acessadas no site do *Highway Safety Manual*, sendo recomendado que o usuário verifique frequentemente o site, para certificar-se de que está utilizando a versão mais recente disponível da planilha.

15.4 Considerações a respeito do emprego do método preditivo no Brasil

O desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes no Brasil ainda não é uma prática disseminada. Isso se deve, em parte, à carência na disponibilidade e qualidade de dados de acidentes viários associada à escassez relativa de processos de calibração e validação de modelos de desempenho de segurança no país [2]. Uma das limitações da aplicação do método preditivo do HSM no Brasil é que, por ser baseado em pesquisas que utilizam dados disponíveis de características físicas e de tráfego de sistemas rodoviários nos Estados Unidos, não existem modelos preditivos para todas as características geométricas e de controle de tráfego existentes, especialmente para características típicas de rodovias brasileiras [3], [9].

Outro fator limitante é que os efeitos não geométricos, como o comportamento dos condutores (idade, experiência ao dirigir, uso do cinto de segurança, uso de álcool, perfil de agressividade etc.) e condições climáticas, são considerados em um sentido geral, apenas por meio do processo de calibração do modelo. Assim, a calibração se torna extremamente importante para a transferibilidade do método preditivo para outras regiões, devendo ser realizada com muita cautela para não comprometer a qualidade dos resultados.

Além desses fatores limitantes, relacionados à aplicação do método em locais diferentes daqueles em que foi baseado, existem pontos de atenção que devem ser considerados na utilização do método preditivo, tais como [3]:

- o método trata de forma independente os efeitos do projeto geométrico e dos elementos de controle de tráfego, ignorando as possíveis interações entre eles, mesmo sendo provável que tais interações existam. Atualmente, essas interações não são totalmente compreendidas e, portanto, são difíceis de quantificar;
- o método não leva em consideração os efeitos das variações do volume de tráfego durante o dia ou das proporções de caminhões e motocicletas.

Conhecidas essas limitações, estudos vêm sendo desenvolvidos a fim de determinar a aplicabilidade do método previsto no HSM em diferentes países e para desenvolver Fatores de Calibração para novas regiões. No Brasil, o emprego de modelos de previsão de acidentes é bastante recente, sendo restrito a alguns trabalhos acadêmicos com foco na calibração do método para as regiões de estudo¹⁵.

Assim, o método preditivo do HSM tem sido aplicado em três etapas sequenciais: (i) sem calibração; (ii) com calibração; e (iii) com aplicação do método Empírico de Bayes. O objetivo de dividir a aplicação do método nessas três etapas é comparar os resultados obtidos em cada uma delas e verificar se resultados mais próximos à realidade brasileira podem ser alcançados com a aplicação da calibração e do método EB.

Essa verificação corrobora a aplicabilidade do método do HSM em diferentes regiões do Brasil, desde que as etapas de calibração e do método EB sejam realizadas. Alguns estudos mencionam a possível necessidade de ajustes nos critérios de divisão de segmentos homogêneos para o emprego do método preditivo no Brasil, em função de especificidades das rodovias brasileiras. A presença de retornos em U, por exemplo, é uma situação comum em rodovias brasileiras que não é abordada na metodologia do HSM. Nesses casos, recomenda-se que os segmentos com características típicas brasileiras não abordadas no HSM sejam tratados separadamente, podendo ser desenvolvidos CMFs específicos para essas características.

¹⁵ Exemplos de estudos realizados em rodovias no Brasil podem ser encontrados nas referências [2], [5] e [10], sendo que o estudo apresentado em [5] foi realizado em rodovias de pista simples no estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto “Coca” et al. **Segurança Viária**. Ed: Suprema Gráfica e Editora. São Carlos, SP, Brasil, 2012.
- [2] WAIHRICH, D. R. L. da S. **Calibração do método de previsão de acidentes do Highway Safety Manual (HSM) para trechos rodoviários de pista dupla no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Transportes) — Departamento de Engenharia Civil e Ambiental — Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.
- [3] ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Highway Safety Manual**. 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos, 2010.
- [4] BROCKENBROUGH, Roger L. **Highway Engineering Handbook. Building and rehabilitating the infrastructure**. 3º edição. Nova Iorque: The McGraw-Hill Companies, 2009.
- [5] SILVA, K. C. R. **Aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista simples do Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transporte) — Escola de Engenharia — Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2012.
- [6] HAUER, E. **Observational Before-after Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety**. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd, 1997.
- [7] HAUER, E *et al.* Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. **Transportation Research Record**, v. 1784, p. 126–131, 2002.
- [8] **Highway Safety Manual — Tools**. Highway Safety Manual, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Estados Unidos. Disponível em: <https://www.highwaysafetyManual.org/Pages/Tools.aspx>. Acesso em: 8 de setembro de 2022.
- [9] PERU, Ministério de Transportes y Comunicación. **Manual de Seguridad Vial**. Lima, Peru, 2017.
- [10] THOMAZI, K. R. **Elaboração de Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Rodovias de Pista Simples do Estado de Santa Catarina com base no Highway Safety Manual (HSM)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial) — Centro Tecnológico — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2018.



OPERAÇÃO SEGURA DE RODOVIAS

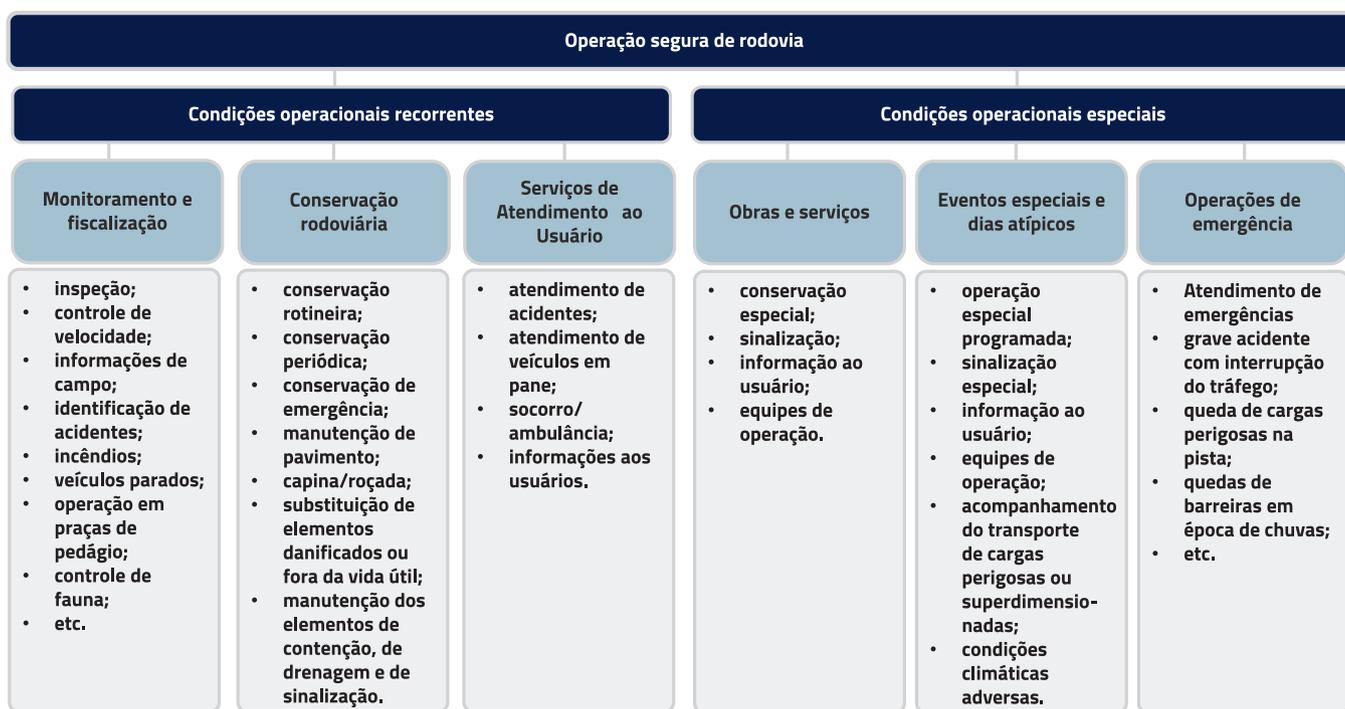
A operação de tráfego tem como função garantir a capacidade, mobilidade, acessibilidade, conforto, segurança e qualidade de vida aos usuários das vias. Dentro do conjunto de medidas utilizadas pelos gestores das vias e por autoridades competentes, a operação segura de rodovias deve contemplar a melhoria da segurança de todos os usuários, da confiança e da confiabilidade de todo o sistema de transporte rodoviário, buscando um equilíbrio entre a gestão do desempenho da rodovia e a segurança oferecida [1], [2].

Se por um lado a operação das rodovias visa a maximizar a velocidade e a fluidez do tráfego, a operação segura da rodovia tem por objetivo garantir que as condições da via sejam capazes de evitar a ocorrência de acidentes. Caso os acidentes ocorram, a operação segura busca mitigar os seus efeitos sobre os diferentes usuários da via.

Em geral, a operação de tráfego dá-se por meio de (i) medidas regulamentadoras (como leis, normas e regulamentação da operação); (ii) análise operacional das vias e da segurança; e (iii) planos de controle de tráfego (tipos de sinalização ou controle a ser adotado em uma situação específica) [1], [2].

A operação segura de rodovia pode ser distinguida entre condições operacionais recorrentes e condições operacionais especiais, as quais são destacadas no fluxograma apresentado na Figura 16.1.

Figura 16.1: Tipos de condições operacionais seguras de rodovias



Fonte: elaborado pelo autor com base em [1]

As operações recorrentes dizem respeito às ações cujo objetivo é mitigar as consequências de um evento rotineiro, a fim de garantir uma condição operacional segura, como nos casos de congestionamentos recorrentes na hora pico em vias principais, alertando e sinalizando a formação de fila. São relativas ao monitoramento e à fiscalização constante da rodovia para identificar situações de risco; aos serviços de

conservação rodoviária¹ (rotineira e preventiva periódica) para manutenção do pavimento e de elementos de sinalização e drenagem na rodovia e nas laterais; e aos Serviços de Atendimento ao Usuário (SAUs) e Unidades Básicas de Atendimento (UBAs).

As operações de conserva especial² são necessárias em condições específicas de tráfego e buscam reduzir os efeitos de uma condição operacional na segurança dos usuários, além de ser uma estratégia de ação para reestabelecer a operação segura. São aplicáveis em locais em obras e serviços para conservação de emergência, restauração e/ou melhoramentos da rodovia; em eventos especiais e dias atípicos que requerem operações especiais programadas; e operações de emergência que acarretam interrupção parcial ou total do tráfego, as quais necessitam da prontidão dos SAUs e UBAs.

É importante destacar que a operação segura se utiliza de novas tecnologias para a gestão e o monitoramento mais eficazes das rodovias. Entre elas estão os Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS)³, que auxiliam na otimização do gerenciamento de tráfego, na cobrança nas praças de pedágio, na transmissão das informações aos usuários, nos serviços de atendimento ao usuário e na fiscalização, permitindo um monitoramento constante da via.

Este capítulo apresenta as diferentes condições operacionais (recorrentes e especiais) para rodovias seguras, bem como as diretrizes para realizar o monitoramento das rodovias considerando as novas possibilidades abertas pelo uso de ITS.

¹ A conservação rodoviária compreende o conjunto de operações rotineiras, preventivas periódicas e de emergência. Para fins de organização do Capítulo, os serviços de conservação rotineira e preventiva periódica são aprofundados no item “16.1.2 — Conservação rotineira e preventiva periódica” que se refere a condições operacionais recorrentes, enquanto a conservação de emergência é apresentada no item “16.2.1 — Obras e serviços de conservação de emergência, restauração e melhorias da rodovia”, destinado a ações em condições operacionais especiais.

² A conservação especial diz respeito à impermeabilização e ao rejuvenescimento (regularização ou reabilitação do revestimento) da camada de rolamento prolongando a vida útil do pavimento, a fim de postergar o momento de execução e planejar intervenções mais onerosas, como obras de restauração pesada e/ou reconstrução. É a manutenção da rede existente em padrões aceitáveis de qualidade, conforto e segurança a custos reduzidos [3].

³ Os Sistemas Inteligentes de Transporte (em inglês, Intelligent Traffic System – ITS) são soluções tecnológicas que incorporam inteligência e inovação em serviços para auxiliar a gestão do tráfego e a operação de transporte.

16.1 Condições operacionais recorrentes

A operação contínua e frequente da rodovia é necessária para garantir condições seguras aos usuários. Nos tópicos a seguir são apresentadas diretrizes e normas para a operação segura da rodovia em condições operacionais recorrentes, considerando os diferentes cenários de tráfego associados.

16.1.1 *Monitoramento e fiscalização*

O monitoramento e a fiscalização da rodovia são necessários em diversas etapas do projeto — da implantação à abertura ao tráfego. São serviços diversos como o monitoramento de projetos implantados, o controle de velocidade, a coleta de informações em campo, as operações em praças de pedágio e a identificação de acidentes, de incidentes com veículos parados na pista e de incêndios na faixa de domínio — que podem afetar o tráfego na rodovia e ocasionar risco de acidentes.

Essas operações, muitas vezes, se beneficiam do controle de velocidade, uma vez que há evidências de que a redução da velocidade impacta a ocorrência e a severidade dos acidentes. A velocidade operacional depende da composição e do volume de tráfego, do uso do solo, do índice de acidentes, da geometria da rodovia e da topografia da região, e deve ser inferior à velocidade de projeto [1].

O controle de velocidade dos veículos em rodovias é realizado por meio de medidores de velocidade dotados de dispositivo registrador de imagem. O uso desses equipamentos possibilita comprovar a ocorrência da infração de trânsito por excesso de velocidade, ou seja, acima do limite da velocidade regulamentada no trecho. A determinação da localização dos medidores de velocidade cabe à autoridade de trânsito, assim como a instalação de sinalização adequada. A responsabilidade pela operação é do gestor da rodovia [4].

Além disso, é possível realizar o monitoramento da velocidade dos veículos com dispositivos ITS, especialmente em locais com congestionamentos recorrentes que exigem monitoramento e fiscalização constantes para a adequação das velocidades, por sistemas de detecção de velocidade de veículos, painéis de mensagens variáveis ou

por videomonitoramento. O monitoramento contínuo permite a coleta de dados sobre velocidade, fluxo e densidade de tráfego. Dispositivos ITS são capazes de identificar condições anormais na via para que sejam realizadas operações seguras para mitigar os efeitos no tráfego [5].

O videomonitoramento de tráfego é realizado pelo Centro de Controle Operacional (CCO) do operador da rodovia, 24 horas por dia. A ferramenta permite monitorar constantemente o fluxo de tráfego e identificar eventuais situações anormais, como congestionamentos, acidentes, veículos parados na pista, incêndios, condições climáticas adversas, situação das praças de pedágio etc. O videomonitoramento ainda conta com a presença de autoridade policial, a qual pode fazer autuação no momento da identificação da infração, por meio do próprio videomonitoramento.

O Controle Operacional por videomonitoramento permite acionar os Serviços de Atendimento ao Usuário e/ou uma equipe para investigar em campo com mais detalhes quaisquer intercorrências na rodovia, presença de obstáculo na pista, buracos, entre outras situações adversas. Tecnologias mais recentes incluem sistemas de detecção automática de situações anormais por vídeo, para identificar obstáculos, acidentes, veículos parados, congestionamento, fumaça etc. e emitir alertas ao CCO para informá-los da situação adversa. Também podem ser citados o uso de drones e a conectividade de todo o sistema de transporte por meio de Wi-Fi, entre veículos, entre veículos e infraestrutura e entre usuários. Além disso, a aquisição de dados via CCO permite a construção de modelos preditivos de monitoramento no futuro.

Outro ponto importante no monitoramento de rodovias é a operação de praças de pedágio, tanto para manter a fluidez do tráfego em locais que podem ser gargalos para o desempenho operacional da rodovia, como para garantir a segurança dos usuários. Deve ser monitorada a operação em todas as pistas de pedágio (manuais ou automáticas), o tempo admissível para a operação de cobrança de pedágio, a fila máxima admitida e demais informações fornecidas ao Centro de Controle Operacional (CCO).

Quanto à operação segura de praças de pedágio, destaca-se a necessidade de controle da velocidade, tanto na aproximação das ilhas de pedágio, como na passagem pelas cabines, especialmente nas cabines de cobrança automática. Além disso, é preciso sinalizar o rabo de fila, sendo recomendado, inclusive, definir uma cabine específica para motos, bem como facilitar o uso de cabines de pedágio automáticas. A segurança

de ocupantes de veículos e dos funcionários deve ser garantida pela estrutura fixa, especialmente com o uso de amortecedores de impacto para evitar choques contra as cabines, como destacado no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”.

Os CCOs podem também fazer o acompanhamento das intervenções de Segurança Viária implantadas, auxiliando na avaliação de contramedidas. O monitoramento de projetos implantados é apresentado em detalhes no “Capítulo 14 — Avaliação econômica e monitoramento de projetos implantados”.

A condução de Auditorias de Segurança Viária na fase de projeto garante que o projeto seja implantado com maior segurança, tornando a operação mais eficaz do ponto de vista de Segurança Viária. O “Capítulo 12 — Abordagens proativas” apresenta os procedimentos de Auditorias de Segurança Viária com mais detalhes.

Por fim, o monitoramento seguro e constante em condições operacionais recorrentes da rodovia envolve a avaliação do Nível de Serviço das rodovias, isto é, a qualidade operacional da via. Bons Níveis de Serviço são refletidos pela fluidez do tráfego, em que são permitidas manobras de mudança de faixa e ultrapassagem com segurança, sem que os veículos estejam demasiadamente próximos uns dos outros. Níveis de Serviço com fluxos de tráfego próximos da capacidade da rodovia podem incorrer em congestionamentos. Operações seguras de rodovias incluem alertas aos condutores, como por meio de luzes e mensagens de alerta, para a identificação de trechos com congestionamento para que os condutores reduzam a velocidade com segurança, e sejam capazes de prever e evitar a ocorrência de colisões traseiras.

16.1.2 *Conservação rotineira e preventiva periódica*

Pela ação do tempo, do tráfego, de agentes ambientais, entre outros, as rodovias sofrem uma progressiva deterioração de sua qualidade. Para que os gestores cumpram com sua função de prestar serviços de qualidade e que atendam aos critérios de conforto e segurança aos usuários, são necessárias atividades periódicas de conservação nas rodovias [6].

A conservação rodoviária compreende as operações rotineiras, periódicas e de emergência que visam a preservar as características técnicas e físico-operacionais das

rodovias e das suas instalações fixas, dentro de padrões de serviço estabelecidos. As atividades de conservação buscam, prioritariamente, garantir a segurança dos usuários, por meio de ações tais como: manutenção do pavimento e da sinalização horizontal e vertical. Tem também por objetivo promover a proteção e a integridade da plataforma (dispositivos de drenagem superficial, limpeza de bueiros e valetas) e a aparência geral (limpeza de mato e corte de grama na faixa de domínio e limpeza das placas de sinalização, por exemplo) [7].

A conservação rotineira compreende o conjunto de operações de conservação com o objetivo de reparar ou sanar um defeito e reestabelecer o funcionamento dos componentes da rodovia.

A conservação preventiva periódica refere-se a operações cujo objetivo é evitar o surgimento ou agravamento de defeitos. Essas operações devem ser realizadas durante o ano e a frequência de execução depende do trânsito, da topografia e do clima, como a operação tapa-buraco e o fechamento de trincas, por exemplo [7].

A conservação de emergência refere-se a obras que causam interrupção parcial ou total no tráfego, sendo, portanto, uma operação especial [7], apresentada no item “16.2.1 — Obras e serviços de conservação de emergência, restauração e melhorias da rodovia”.

A execução dos serviços de conservação rodoviária de rotina abrange inspeções e melhorias no pavimento, no revestimento vegetal, nos sistemas de drenagem, nas faixas de domínio e elementos de segurança nas rodovias, nos acessos, nas interligações, nos dispositivos e nas vias não pavimentadas sob jurisdição do DER/SP. Mais especificamente, os serviços de conservação referem-se à manutenção da vida útil do pavimento, à verificação e adequação do sistema de drenagem, capina e roçada, à substituição de elementos danificados ou fora da vida útil e à manutenção de elementos de contenção e sinalização [7].

O monitoramento da rodovia, por meio de inspeções periódicas de dados e parâmetros e/ou das condições técnicas preestabelecidas dos componentes viários, permite a sua preservação e melhoria. A verificação de pavimentos, obras de arte especiais, elementos de proteção e segurança (dispositivos de contenção, sinalização e iluminação), taludes, elementos de drenagem, acessos, interseções, faixa de domínio, áreas

lindeiras e dispositivos permanentes de operação são essenciais para garantir a conservação e manutenção de tais elementos [7].

Em geral, os amortecedores de impacto e os terminais requerem baixa manutenção periódica, mas requerem manutenção imediata após impacto, necessitando que determinados materiais sempre estejam disponíveis em estoque ou possam ser facilmente obtidos, para esta manutenção [8]. Portanto, deve-se realizar a manutenção imediata (conservação de emergência) de dispositivos de contenção toda vez que ocorrer um impacto em sistemas de contenção viária, restituindo o sistema de acordo com as normas técnicas do DER/SP e ABNT.

A operação segura de serviços de conservação rodoviária deve garantir condições de visibilidade e segurança para usuários e trabalhadores no local. Nesse sentido, o DER/SP conta com o Sistema de Administração de Conservação (SAC), desenvolvido para auxiliar nas operações de conservação. Mediante autorização e orientação do gestor da rodovia, os trabalhadores devem estar uniformizados de acordo com o Manual de Identidade Visual do DER/SP, incluindo uniformes especiais para a chuva e equipamentos individuais e coletivos de proteção [6]. Além disso, o trecho deve ser devidamente sinalizado conforme as instruções específicas para obras temporárias indicadas pelo Manual de Sinalização do DER/SP. Esse Manual indica que obras de curta duração, como as de conservação de rotina, podem ser dotadas de dispositivos de sinalização de fácil transporte e instalação.

16.1.3 *Serviços de Atendimento ao Usuário*

A operação segura de rodovia deve contemplar serviços de apoio às ocorrências, de forma a reduzir o tempo de interferência na rodovia, uma vez que o tempo de socorro médio e o tempo mínimo de resgate são cruciais para reduzir as consequências dos acidentes [9]. Para isso, as rodovias devem contar com os Centros de Controle Operacional (CCOs) que inspecionam e verificam a situação dos pontos da rodovia, por meio de videomonitoramento. Podem se beneficiar de tecnologias, como Painéis de Mensagens Variáveis, telefones e Wi-Fi ao longo da rodovia, para conforto e segurança dos usuários.

Os Serviços de Atendimentos ao Usuário (SAUs) e as Unidades Básicas de Atendimento (UBAs) são entidades de suporte distintas com funções similares. As bases das UBAs atuam nas residências de conservação, enquanto as bases dos SAUs estão localizadas ao longo das rodovias, em locais estratégicos, alocando os recursos operacionais e com área de atendimento ao usuário (sanitários, fraldário e água). Servem, também, como postos de parada e de descanso para motoristas e podem conter postos de pesagem para fiscalização das cargas dos caminhões e autuações, quando necessário.

As bases devem contar com recursos físicos como suporte mecânico, caminhão-pipa e guincho, como também podem dispor de ambulâncias para proporcionar um atendimento rápido e emergencial às vítimas de acidentes. As ações são coordenadas com as ações da Polícia Militar Rodoviária, a qual é acionada quando necessário, como para solicitar que um veículo seja imobilizado para fiscalização ou autuação. Devem contar também, com veículos de inspeção, para fazer a vigilância e fiscalização da rodovia.

As SAUs realizam inspeções regulares de tráfego (circulam 24 horas por dia), para garantir a fluidez e zelar pela segurança dos usuários, além de prestar auxílio quando necessário. Atuam no monitoramento da rodovia, removem objetos e executam sinalizações de caráter emergencial para restabelecer as condições de segurança da rodovia [10].

16.2 Condições operacionais especiais

Na operação segura de rodovia, eventualmente, podem ocorrer situações que requeiram a adoção de medidas operacionais especiais para garantir as condições mínimas de operação da rodovia. Nos tópicos a seguir são apresentadas diretrizes e normas para a operação segura da rodovia em condições operacionais especiais, para os diferentes cenários de tráfego associados.

16.2.1 *Obras e serviços de conservação de emergência, restauração e melhorias da rodovia*

Os serviços de conservação de emergência envolvem um conjunto de operações cujo objetivo é solucionar a interrupção do tráfego na rodovia, podendo ser serviços ou obras necessários para reparar, repor, reconstruir ou restaurar trechos ou a estrutura da rodovia que foram seccionados, obstruídos ou danificados por evento extraordinário.

Os serviços de restauração são operações para restabelecer o perfeito funcionamento de um bem avariado ou as características técnicas originais na íntegra, podendo ser necessário adaptar a rodovia de forma permanente, às condições atuais e futuras, para prolongar a sua vida útil. Os melhoramentos acrescentam características novas ou modificam as características existentes da rodovia [7].

Obras e serviços de conservação nas rodovias podem representar locais de maior risco para a ocorrência de operações perigosas, uma vez que a natureza temporária das obras aumenta o risco de acidentes, pois pode provocar surpresa aos usuários. Porém, a construção de novas vias, a duplicação, a melhoria e a manutenção de rodovias existentes são necessárias e inevitáveis. Esses serviços geralmente ocupam parte da pista, causando uma interrupção no tráfego.

O risco de acidentes graves e/ou fatais é três vezes maior em canteiros de obras rodoviárias do que em um segmento com operação recorrente. O gerenciamento de tráfego deve abordar e combater esse risco aumentado [11], adotando critérios de segurança e de operação mais elevados em locais em obra do que em condições operacionais de rotina.

As obras em condições operacionais especiais devem ser realizadas com a garantia de condições de segurança na rodovia, como também, devem causar a menor interferência possível no fluxo de tráfego. Portanto, a operação segura deve prever que o tráfego siga enquanto as obras ocorrem, mesmo com estrangulamentos da corrente de tráfego. Assim, deve buscar minimizar congestionamentos e atrasos, enquanto maximiza a segurança de trabalhadores no local e usuários da rodovia [11].

A avaliação dos riscos envolvidos e o gerenciamento de locais em obra visam a garantir que, em nenhuma circunstância, os usuários das vias sejam surpreendidos pelas

interrupções no tráfego em decorrência das obras na via. Para a execução de serviços na rodovia com segurança, o local deve estar devidamente sinalizado, conforme as recomendações do Manual de Sinalização do DER/SP para situações específicas de obras e serviços. A sinalização de obras e serviços de conservação envolve iluminação e sinalização especiais — como luzes de alerta e placas identificando a ocorrência de obras na pista ou na lateral — instalação de barreiras de proteção aos usuários e trabalhadores, delineadores, dispositivos de canalização do tráfego e outros dispositivos de segurança. Em algumas situações pode ser necessário fazer uso do acostamento como faixa para os veículos trafegarem durante a execução dos serviços.

O local deve estar corretamente sinalizado, com antecedência, para que os condutores estejam cientes de que há uma modificação temporária na rodovia e sejam capazes de reduzir sua velocidade e se adaptar com segurança à nova situação de tráfego. Além de fornecer informações sobre os serviços que estão ocorrendo na rodovia, a sinalização deve informar os usuários sobre os dias e horários de operações, duração da obra e como alteram o fluxo de tráfego [11].

Também, é preciso que os trabalhadores estejam devidamente equipados para que sejam visíveis e identificáveis⁴. Para obras noturnas, é obrigatório o uso de equipamentos de proteção retrorrefletivos [11].

O planejamento de segurança em locais de trabalho deve prever planos de gerenciamento de tráfego, com projetos de dispositivos de controle de tráfego e uma lista da programação das obras, com dias e horários dos serviços [11], devendo ser aprovado o Termo de Autorização de Uso da Faixa de Domínio da Rodovia [12] pelas autoridades rodoviárias antes do início do trabalho. Em geral, como uma medida de segurança, os trabalhos de conservação ao longo da malha sob jurisdição do DER/SP devem ser executados durante o dia, devendo ser evitado o trabalho noturno, aos fins de semana e feriados. Entretanto, rodovias com VDMs mais altos permitem a execução de obras apenas no período noturno ou aos finais de semana.

⁴ Os equipamentos de proteção dos trabalhadores são apresentados com mais detalhes no item “16.1.2 — Conservação rotineira e preventiva periódica” e referem-se a orientações fornecidas pelo Manual de Sinalização do DER/SP.

16.2.2 *Eventos especiais/dias atípicos*

Condições operacionais especiais ocorrem durante dias atípicos e eventos especiais, como feriados prolongados, eventos religiosos, esportivos e festivos. Ainda são eventos especiais o transporte de cargas perigosas e superdimensionadas, mediante autorização. Condições climáticas adversas também exigem planos operacionais especiais.

Em muitas dessas condições de operação, há um aumento no volume de tráfego e, por consequência, na exposição ao risco, o que pode acarretar um aumento no número de acidentes. Há também outras características que podem configurar-se como situações de risco, como a presença de usuários sem experiência ou com pouco conhecimento sobre a rodovia, menor visibilidade para condução e a presença de pedestres caminhando ao longo do trecho.

Para a operação segura da rodovia, deve ser implantada uma operação especial programada para cada situação, podendo ser necessária sinalização especial na rodovia, conforme exigido pelo Manual de Sinalização do DER/SP, com a presença de equipes de operação e serviços de informações aos usuários. Essas operações são coordenadas pelo DER/SP e contam com procedimentos internos para operações.

Eventos que ocorrem anualmente, como datas festivas e feriados, apresentam operações especiais de trânsito com planejamento e execução em toda a malha administrada pelo DER/SP, buscando garantir tanto a fluidez do tráfego quanto a segurança e o conforto dos usuários. Além dos reforços operacionais e de fiscalização para atendimento aos usuários e monitoramento das rodovias mais movimentadas, as medidas visam a minimizar os impactos causados pelo aumento do fluxo de veículos [9], [13].

Para o transporte de cargas perigosas ou superdimensionadas, são exigidas autorizações de transporte. A Autorização Específica (AE) e a Autorização Especial de Trânsito (AET), expedidas pelo DER/SP, são documentos de transporte que são concedidos a veículos ou combinações de veículos de cargas que não se enquadram nos limites de peso e dimensões estabelecidos pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). É de competência do DER/SP realizar a concessão ou cancelar a autorização especial [14], [15] e apresentar os requisitos para a obtenção de Autorizações Especiais de Transportes. Entre as exigências é estipulado o período de circulação permitido, entre o nascer e o pôr do sol [16].

A operação de rodovias em eventos especiais ou dias atípicos desdobra-se no cumprimento de cinco etapas. O objetivo é organizar a operação da via, tendo em conta as condições operacionais anormais, especialmente aquelas com aumento do fluxo de tráfego ou interrupção de vias, são elas:

- (1)** Monitorar: o monitoramento da rodovia é feito 24 horas por dia. Os dados obtidos durante o monitoramento podem servir para organizar as equipes em dias atípicos e eventos especiais. Mesmo antes da ocorrência de operações especiais programadas, deve-se reforçar o gerenciamento de tráfego para compreender melhor como agir quando o fluxo de tráfego sofrer alterações.
- (2)** Informar: toda e qualquer operação especial programada ou condição climática adversa que altere as condições de operação recorrentes deve ser informada à Polícia Militar Rodoviária e aos usuários, pelo site do DER, por rádio, por mídias sociais ou por PMVs.
- (3)** Acompanhar/intervir: é essencial realizar o monitoramento e a fiscalização da rodovia durante essas operações especiais, para verificar se não há qualquer incidente e se é necessário intervir por meio de equipes em campo. É realizado especialmente via videomonitoramento, pelos CCOs e por equipes em campo, em viaturas de inspeção de tráfego.
- (4)** Bloquear/interditar: quando for necessário intervir na corrente de tráfego devido a dias atípicos (muita neblina em trecho de serra, por exemplo) ou em eventos especiais (como evento esportivo de ciclismo), deve ser realizado o bloqueio (parcial ou total) da rodovia e o acompanhamento do fluxo de tráfego por equipes de campo, como viaturas do DER ou da PMRv, até que se possa garantir a volta da normalidade nas condições de operação com segurança.
- (5)** Recuperar: refere-se ao tempo que o tráfego leva para retornar às condições recorrentes de fluxo após o evento especial ou à condição que levou ao dia atípico, com o uso de técnicas de gerenciamento de tráfego, principalmente garantindo as condições de segurança para os usuários e, também, evitando que o efeito do congestionamento se espalhe para outros locais.

16.2.3 Operações de emergência

O gerenciamento de incidentes muitas vezes demanda a mitigação de congestionamentos não recorrentes, sendo definido como “uma abordagem coordenada e planejada para restaurar o tráfego às suas operações normais após a ocorrência de um incidente”. Independentemente se forem acidentes ou eventos planejados ou programados, é necessário o uso sistemático de recursos humanos e tecnológicos para [5]:

- detectar e verificar rapidamente a ocorrência de um incidente;
- avaliar a gravidade do incidente e identificar os recursos necessários para lidar com a situação;
- determinar o plano de resposta mais apropriado para restaurar a operação recorrente da via.

Nesse sentido, o processo de gerenciamento de incidentes consiste em quatro etapas sequenciais, descritas abaixo. O objetivo desse processo é reduzir o tempo necessário para completar cada etapa e restaurar as operações recorrentes da via [5]:

- (1) Detecção e verificação: identificar o incidente e coletar informações sobre a sua localização, severidade e extensão, a fim de elaborar um plano de resposta apropriado. Pode ser realizado pela polícia, equipes de campo, por chamadas telefônicas e, mais recentemente, por detecção automática por dispositivos ITS.
- (2) Resposta: é um processo que envolve a ativação, a coordenação e o gerenciamento de pessoas e equipamentos para eliminar o incidente. Num primeiro estágio, deve-se identificar as unidades de resposta a incidentes mais próximas. Um segundo estágio diz respeito ao gerenciamento e controle de tráfego para reduzir os impactos adversos do incidente, como informar o público sobre o incidente por meio do uso de dispositivos ITS e sinalização. Dessa forma, é possível otimizar recursos e minimizar o tempo de resposta (composto pela verificação da ocorrência e localização, envio de equipe de resposta ao incidente e tempo de viagem da equipe até o local).
- (3) Liberação: é a remoção segura e oportuna de um incidente, por meio de tecnologia para melhorar a eficiência da resolução de incidentes.

- (4) **Recuperação:** refere-se ao tempo que o tráfego leva para retornar às condições recorrentes de fluxo após a eliminação do incidente com o uso de técnicas de gerenciamento de tráfego, e evitar que o efeito do congestionamento se espalhe para outros locais.

Operações de emergência devem ser acionadas quando há ocorrência de acidentes graves, queda de produtos perigosos na pista ou quedas de barreiras em época de chuvas, quando ocorre o fechamento de pista e a consequente interrupção do tráfego na rodovia. As UBAs e os SAUs devem estar preparados para atender os usuários, com o envio de ambulâncias, guinchos e equipes especiais ao local.

Os operadores e técnicos do Centro de Controle Operacional (CCO) da rodovia devem ter planos operacionais de emergência para essas situações, para que o veículo de emergência consiga chegar ao local da ocorrência. Os planos devem levar em conta o comprimento de fila, o Nível de Serviço e a Segurança Viária. Podem estar associados a aberturas de emergência em trechos duplicados (com a criação de uma faixa reversível temporária de emergência), a desvios operacionais ou a aberturas operacionais de emergência (retorno operacionais de emergência), ideais para trechos em entroncamentos ou logo após praças de pedágio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PERU, Ministerio de Transportes y Comunicación. **Manual de Seguridad Vial**. Lima, Perú, 2017.
- [2] Pignataro, L. J. **Traffic Engineering: Theory and Practice**. Prentice Hall, Englewood, New Jersey, 1973.
- [3] BRASIL, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Serviços de Conservação Especial: Diretrizes e Procedimentos para Serviços de Conservação Especial Incluindo a Identificação de Defeitos e Definições de Soluções para Restauração de Pavimentos Rodoviários e da Sinalização Horizontal**. São Paulo, SP, Brasil, 2013
- [4] BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Resolução nº 798**, de 02 de setembro de 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-798-de-2-de-setembro-de-2020-276446814>. Acesso em: 05 jan. 2023.
- [5] HOEL, Lester A.; GARBER, Nicholas J.; SADEK, Adel W. **Transportation Infrastructure Engineering: A Multimodal Integration**. SI ed. Califórnia, Estados Unidos: CENGAGE Learning, 2011
- [6] BRASIL, Governo do Estado de São Paulo, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Audiência Pública: Sinalização Rodoviária**. 04 maio 2022. São Paulo, Brasil, 2019
- [7] BRASIL, Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Conservação Rodoviária. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ**, Brasil, 2005
- [8] BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15486 — Segurança no tráfego — Dispositivos de contenção viária — Diretrizes de projeto e ensaios de impacto**. Brasil, 2016
- [9] BRASIL, Governo do Estado de São Paulo, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Unidades Básicas de Atendimento — UBAs**. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/MalhaRodoviaria/UBAS.aspx>
- [10] Concessionária Tamoios. **Serviços**. Disponível em: <https://www.concessionariatamoios.com.br/servicos/sau>. Acesso em: 23 maio 2023.
- [11] Central Asia Regional Economic Cooperation (CAREC). **Road Safety Engineering Manual 2: Safer Road Works**. Asian Development Bank (ADB), 2018.
- [12] BRASIL, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Regulamento para autorização de uso da faixa de domínio de estradas e rodovias integrantes da malha rodoviária do DER — Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo — para**

- implantação e utilização de dispositivos destinados a serviços de terceiros, públicos ou particulares.** Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Servicos/ServicosEspeciais/FaixaDominio.aspx>. Acesso em: 23 maio 2023.
- [13] PORTAL ESTRADAS. **Rodovias paulistas implantam operações especiais de fim de ano e de férias.** 2020. Disponível em: <https://estradas.com.br/rodovias-paulistas-implantam-operacoes-especiais-de-fim-de-ano-e-de-ferias/>. Acesso em: 23 maio 2023.
- [14] BRASIL, Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **Requerimento de Autorização Específica — AE.** Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Servicos/Informacoes/AutorizacaoEspecifica.aspx>. Acesso em: 23 maio 2023.
- [15] BRASIL, Infraestrutura, Trânsito e Transportes. **DNIT — Emitir Autorização Especial de Trânsito (AET).** Governo do Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/emitir-autorizacao-especial-de-transito>. Acesso em: 23 maio 2023.
- [16] GESTÃO DE TRANSPORTES ESPECIAIS. **Requisitos para obtenção de AET no DER/SP.** Disponível em: http://www.guiadotrc.com.br/logis/requisitos_AET_DERSP.asp. Acesso em: 23 maio 2023.



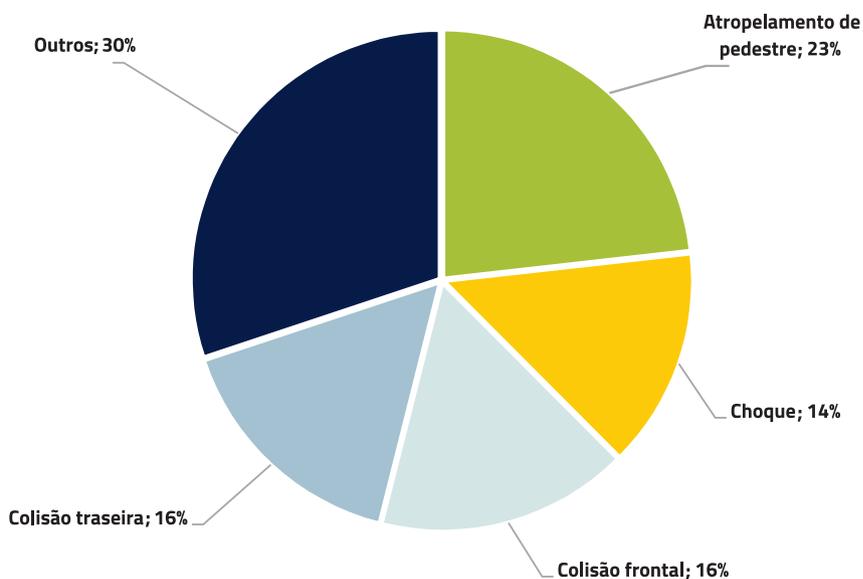
PROBLEMAS TÍPICOS EM RODOVIAS DA MALHA PAULISTA

No período de 2017 a 2021, dados da Polícia Rodoviária do Estado de São Paulo mostram que ocorreram cerca de 55 mil acidentes por ano no estado, sendo 1.500 deles com vítimas fatais¹. Entre os onze tipos de acidentes registrados, quatro foram responsáveis por aproximadamente 70%, em média, dos acidentes com vítimas fatais: atropelamento de pedestres, choque, colisão frontal e colisão traseira (Gráfico 17.1).

Quando se considera o total de acidentes, para o mesmo período, outras tipologias passam a integrar o grupo de maiores ocorrências, entre eles colisões laterais e tombamentos, como pode ser visto no Gráfico 17.2. Atropelamentos e colisões frontais deixam de figurar entre os mais frequentes, o que indica o alto grau de severidade desses tipos de acidentes. Apenas como referência, de acordo com esse universo de dados, um atropelamento tem 31% de risco de produzir, pelo menos, uma vítima fatal em um acidente.

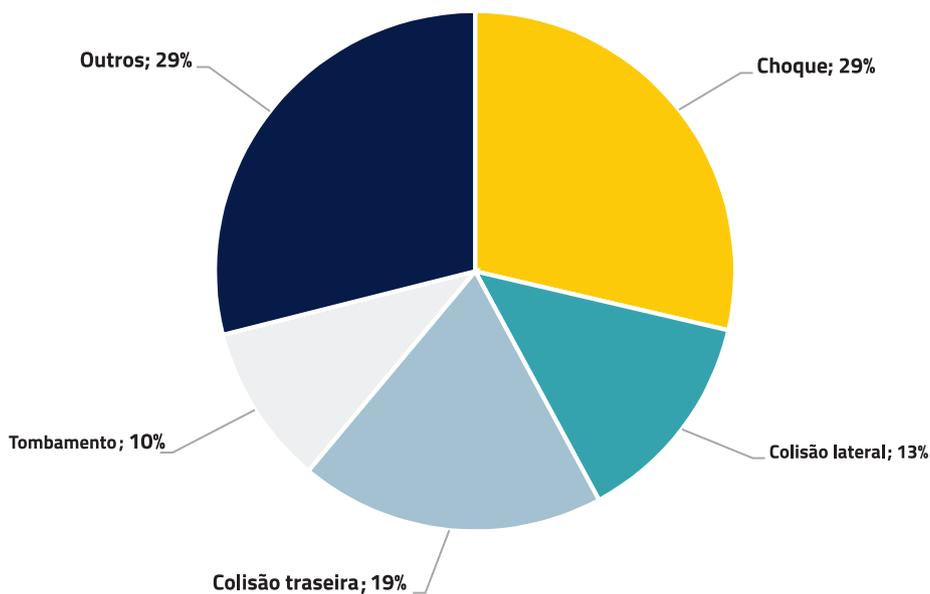
¹ Este capítulo utiliza dados de acidentes sistematizados pelo DER-SP com base em dados da PMRv, entre 2017 e 2021.

Gráfico 17.1: Percentual médio de acidentes com vítimas fatais na malha rodoviária paulista, entre 2017 e 2021



Fonte: dados da PMRv

Gráfico 17.2: Percentual médio do total de acidentes na malha rodoviária paulista, entre 2017 e 2021



Fonte: dados da PMRv

Dada a relevância das tipologias de acidentes indicadas acima, este capítulo apresenta os fatores de risco geralmente associados à ocorrência desses acidentes. Além disso, os fatores de risco identificados são relacionados a possíveis contramedidas que podem ser adotadas, destacando-se as principais práticas conforme literatura internacional.

17.1 Efetividade esperada de contramedidas

Os conceitos de contramedida e efetividade esperada foram apresentados em capítulos anteriores deste Manual, em especial no “Capítulo 13 — Seleção de contramedidas”.

Para a classificação da efetividade potencial apresentada neste capítulo, utilizou-se como ponto de partida os agrupamentos empregados pelo Road Safety Toolkit, elaborado pelo iRAP [1]. Outras referências utilizam limites diferentes para agrupamentos em classes distintas de efetividade potencial, dificultando a adoção de dados quantitativos na classificação da efetividade das contramedidas — sintetizadas de diferentes referências. Ao mesmo tempo, vale ressaltar que, conforme já apresentado no “Capítulo 13 — Seleção de contramedidas”, as expectativas de resultados de contramedidas atualmente disponíveis na literatura técnica utilizam dados de países desenvolvidos, o que nem sempre é facilmente adaptável para a situação da malha paulista e brasileira.

Neste capítulo, as contramedidas indicadas foram classificadas a partir de uma escala qualitativa, que combina diferentes referências bibliográficas e experiências adquiridas em trabalhos anteriormente realizados na malha rodoviária do estado de São Paulo. Algumas contramedidas de eficácia reconhecida nas rodovias de São Paulo não contam com referências de efetividade plenamente aderentes à literatura consultada. Nesses casos, a efetividade potencial foi indicada como “sem informações”.

Sendo assim, as contramedidas foram agrupadas de acordo com sua expectativa de efetividade, conforme o Quadro 17.1. Esses valores podem ser empregados como referências em projetos até que estudos locais estabeleçam valores mais adequados à realidade brasileira e, em particular, à realidade paulista.

Quadro 17.1: Expectativa de efetividade de contramedidas implantadas

Efetividade potencial	Referencial de redução de acidentes totais
Moderada	Inferior a 25/30%
Alta	Entre 25/30% e 40%
Muito Alta	Acima de 40%
Sem Informações	Sem referências na literatura consultada

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [3]

17.2 Acidentes recorrentes e contramedidas recomendadas

Na sequência, são apresentadas as contramedidas recomendadas com maior frequência para reduzir e/ou eliminar os fatores de risco identificados, agrupados conforme os tipos de acidentes mais recorrentes na malha viária paulista². Para mais detalhes sobre as tipologias apresentadas, recomenda-se consultar o “Capítulo 3 — Acidentalidade” deste Manual.

17.2.1 *Atropelamento de pedestres*

Embora geralmente sejam responsáveis por uma pequena parcela do total de acidentes em rodovias — 2% em média, entre 2017 e 2021 na malha paulista —, os atropelamentos de pedestres têm potencial significativo para severidade, representando mais de 20% dos acidentes envolvendo vítimas fatais.

² Vale ressaltar que as efetividades potenciais se referem à redução esperada na ocorrência de acidentes de todos os tipos, e não exclusivamente na redução do tipo de acidente destacado.

Os locais sensíveis a este tipo de acidente estão normalmente relacionados a travessias urbanas dos tipos II e III³, conforme apresentado no “Capítulo 10 — Travessias urbanas”, e a polos geradores de viagens (PGVs), localizados adjacentes às rodovias. No primeiro caso, o desenvolvimento urbano em ambos os lados da rodovia gera demandas de travessias de pedestres. Frequentemente, essas demandas não se concentram em pontos específicos, mas são pulverizadas ao longo da extensão do trecho urbano. Também são comuns em rodovias litorâneas, situadas entre a orla e a área urbanizada.

Os casos de polos geradores de viagens podem envolver a localização de uma indústria, armazém, comércio de grande porte, universidade, acesso a um loteamento ou condomínio fechado, entre outros. Em todas essas situações, promove-se a concentração de pedestres nas laterais do sistema rodoviário, especialmente nos locais onde existem pontos de parada de transporte coletivo para atender às demandas dos pedestres, o que exige grande atenção por parte dos projetistas em relação à Segurança Viária.

Os atropelamentos podem ocorrer tanto ao longo do segmento da rodovia quanto nas interseções. Além disso, não ocorrem somente em situações de demanda de cruzamento dos pedestres, mas também quando esses usuários caminham ao longo da rodovia.

Os fatores típicos que adicionam riscos aos pedestres são [1]:

- velocidade incompatível com a circulação de pedestres e ciclistas;
- ausência de infraestrutura segura para pedestres;
- segregação inadequada entre as calçadas e o tráfego;
- número de faixas de tráfego;
- ausência de intervalos seguros para o cruzamento de pedestres, em especial, em vias com várias faixas de tráfego;
- complexidade e falta de legibilidade dos movimentos do tráfego em interseções;

³ Diferentemente das travessias urbanas do tipo I, as travessias dos tipos II e III são aquelas que sofrem influência do tráfego local, seja por passagem perturbada em áreas de influência urbana (tipo II) ou atravessando áreas urbanizadas (tipo III). Para mais detalhes, consultar a definição dos tipos de travessia no “Capítulo 10 — Travessias urbanas”.

- condições inadequadas de visibilidade entre pedestres e veículos.
- ausência ou insuficiência de iluminação;
- fadiga do condutor e falta de atenção de condutores e pedestres (por empenho em outras tarefas, como uso do celular);
- comprometimento das capacidades do condutor ou pedestre pelo uso de álcool/drogas/medicação;
- condições inadequadas de manutenção de pneus, luzes e freios do veículo.

Entre as contramedidas com maior eficácia para a redução de atropelamentos destaca-se o controle de velocidade, já que atua diretamente sobre fatores de risco importantes para a severidade e mesmo para a ocorrência de acidentes, tais como o diferencial de energia cinética, as condições de visibilidade, a distância de frenagem etc. O Quadro 17.2 apresenta os principais fatores de risco associados à via e relaciona as possíveis contramedidas para reduzir a ocorrência de atropelamentos, além de apresentar as efetividades potenciais de cada contramedida na redução de acidentes, de acordo com as referências internacionais consultadas.

Quadro 17.2: Principais contramedidas para a redução de atropelamentos de pedestres

Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
	Regulamentação de velocidade mais adequada e segura para o local.	Alta [2]
Velocidade incompatível	Implantação de lombadas, deflexões na geometria da via ou rotatórias , especialmente nas situações de transição de trechos rurais para urbanos ou quando se observa locais de cruzamento de usuários vulneráveis. Podem ser utilizadas também travessias elevadas, que conjugam os benefícios de travessias sinalizadas de pedestres e redutores de velocidade. Ressalta-se que medidas como essas necessitam de sinalização horizontal e vertical de regulamentação e de advertência.	Alta [2]



Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
Velocidade incompatível	Instalação de controles eletrônicos de velocidade ou lombadas eletrônicas , que podem ser associados a estreitamentos de pista e/ou implantação de refúgios centrais.	Alta [2]
	Implantação de tratamentos de entrada, estreitamentos de faixas de tráfego, canteiros/refúgios centrais ou outras medidas moderadoras de tráfego (traffic calming) ⁴ que demarquem a transição do ambiente de alta para baixa velocidade.	Alta [2]
	Implantação de linhas de estímulo à redução de velocidade na transição do trecho rural para urbano ou nas proximidades de pontos de travessia de pedestres.	Sem informações
Presença de usuários vulneráveis expostos ao tráfego	Implantação de calçadas ou ciclovias seguramente afastadas do fluxo de tráfego. As calçadas/ciclovias devem ser implantadas o mais afastadas possível das faixas de tráfego. Atentar-se para o dimensionamento adequado quanto à largura e à ausência de obstáculos que obstruam ou reduzam a largura útil das calçadas.	Alta a Muito Alta [1], [2], [3]
	Implantação de calçadas ou ciclovias segregadas da faixa de tráfego por dispositivos de contenção viária. Nesse caso, as calçadas/ciclovias são implantadas próximas à via , pois a proteção dos usuários vulneráveis é garantida pelos dispositivos de contenção.	Alta a Muito Alta [1], [2], [3]
	Implantação de calçadas ou ciclovias acompanhada por medidas moderadoras de tráfego. Nesse caso, as calçadas/ciclovias podem ser implantadas próximas à via, sem proteção, pois as medidas moderadoras devem impor a redução da velocidade de tráfego, propiciando a segurança dos pedestres e ciclistas.	Alta a Muito Alta [1], [2], [3]
	Implantação de canalizadores dos fluxos de pedestres para direcionamento da travessia para locais mais seguros e sinalizados.	Moderada a Alta [1]



⁴ Medidas moderadoras de tráfego (em inglês, traffic calming) são abordadas com detalhes no “Capítulo 10 — Travessias urbanas”.

Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
Presença de usuários vulneráveis expostos ao tráfego	Implantação de refúgios centrais para permitir a travessia em duas etapas. Associar essa contramedida a dispositivos de controle de velocidade pode aumentar a sua efetividade.	Moderada a Alta [1], [3]
	Pavimentação de acostamentos para uso compartilhado em situações de baixa demanda de pedestres e restrição de espaço.	Moderada a Alta [1], [3]
Ausência de intervalos seguros para travessia, em especial, em vias com várias faixas de tráfego	Implantação de refúgios centrais para permitir a travessia em duas etapas. Associar essa contramedida a dispositivos de controle de velocidade pode aumentar a sua efetividade.	Moderada [1]
	Implantação de medidas de gerenciamento da velocidade , como as apresentadas no grupo “fator de risco: velocidade incompatível” deste Quadro.	Alta [2]
	Implantação de passarelas ou passagens inferiores. Devem ser sinalizadas, iluminadas e implantadas em locais que garantam a segurança pública dos usuários.	Alta [2]
	Remodelar a interseção , melhorando a condição geométrica.	Alta [2]
	Implantação de rotatórias em rodovias de pista simples, em locais adequados em relação aos alinhamentos horizontal e vertical.	Alta [2], [3]
Complexidade ou falta de legibilidade dos movimentos do tráfego em interseções	Implantação de solução de interseção em desnível. Observar que dispositivos em desnível podem adicionar complexidade para a circulação de pedestres.	Alta [2]
	Remoção de elementos físicos que comprometem a visibilidade do motorista e/ou a intervisibilidade entre condutor e pedestres, particularmente crianças.	Moderada [1]
	Implantação de iluminação nas aproximações e na interseção.	Moderada [1]
	Gestão de acessos nas proximidades de interseções.	Alta [3]
	Implantação de faixas de conversão, sinalização horizontal mais ostensiva, reforço no delineamento das aproximações e ilhas da interseção.	Moderada [2], [3]
	Melhoria da sinalização horizontal e vertical , especialmente da sinalização indicativa.	Moderada [2]



Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
Ausência ou insuficiência de iluminação	Implantação de iluminação em segmentos com presença de pedestres e em locais de travessia de pedestres.	Moderada a Alta [1], [3]
	Implantação de sinalização horizontal com alta retrorefletividade e melhoria no delineamento da pista em locais com caminamento ou cruzamento de pedestres.	Sem informações

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [3]

17.2.2 Choque

Os acidentes classificados como choque envolvem a colisão de um veículo com um objeto fixo. Nesses casos, pode haver perda de controle do veículo e saída da faixa de tráfego em direção às laterais ou ao centro da via, quando existem canteiros centrais. Por essa razão, tem sido dedicada especial atenção às zonas livres e aos elementos de contenção em projetos rodoviários recentes.

Os choques são acidentes comuns em ambientes de alta velocidade e ocorrem tanto em trechos sinuosos como em tangentes. Em geral, choques traduzem-se como acidentes de alto risco e severidade. Pesquisas indicam que a taxa de sobrevivência de ocupantes de veículos que atingem um obstáculo fixo varia de acordo com a velocidade e com a direção do impacto, uma vez que as laterais dos veículos não são projetadas para absorver a energia do choque, como ocorre com a frente do veículo⁵. Assim, choques laterais costumam ter resultados mais severos que choques frontais. Para os motociclistas, as consequências podem ser graves mesmo em velocidades baixas [1].

Nas rodovias do estado de São Paulo, a participação desse tipo de acidente é expressiva tanto no total de acidentes (29%), quanto no percentual de ocorrências envolvendo vítimas fatais (14%). O choque pode ocorrer com elementos naturais, como árvores e rochas, ou com elementos construídos, como elementos estruturais de viadutos ou passarelas, postes de iluminação, edificações operacionais e outros elementos

⁵ A chance de sobrevivência em choques frontais é reduzida drasticamente para velocidades acima de 70 km/h, enquanto em um impacto lateral, a chance é reduzida em velocidades acima de 30 km/h.

físicos, causando também consequências secundárias potencialmente graves, como outros acidentes ou danos a ativos da rodovia.

Os fatores de risco associados aos choques, podem ser [1]:

- velocidade inapropriada às condições de operação da via;
- ausência de elementos adequados de delineamento;
- deficiência na sinalização horizontal;
- baixo coeficiente de atrito do pavimento;
- pontos de aquaplanagem e acúmulo de água na pista;
- ausência de acostamentos pavimentados;
- ausência de zona livre apropriada devido à presença de obstáculos fixos não protegidos ou não traspassáveis dentro da zona livre calculada;
- fadiga do condutor e falta de atenção (por empenho em outras tarefas, como uso do celular);
- comprometimento das capacidades do condutor pelo uso de álcool/drogas/medicação;
- ausência de dispositivos de segurança do veículo e/ou mau estado de conservação.

As contramedidas disponíveis na engenharia de Segurança Viária atuam no sentido de contenção dos veículos, mantendo-os nas vias, ou alertando os motoristas, para permitir a recuperação do controle [1]. O Quadro 17.3 apresenta os principais fatores de risco associados à via e as possíveis contramedidas para reduzir a ocorrência de choques, além de apresentar as efetividades potenciais de cada contramedida na redução de acidentes.

Quadro 17.3: Principais contramedidas para a redução de choques

Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
Velocidade inapropriada	Instalação de controles eletrônicos de velocidade em segmentos críticos ou nas aproximações de pontos críticos.	Alta [2]
	Implantação de linhas de estímulo à redução de velocidade nas aproximações de pontos críticos, como curvas com restrições de raio horizontal.	Sem informações
Ausência de elementos adequados de delineamento	Implantação de linhas de bordo providas de sonorizadores .	Moderada [1]
	Implantação de linha de bordo com largura adicional em curvas ou segmentos considerados críticos para esse tipo de acidente.	Alta [1], [3]
	Implantação de sobrelargura adicional em curvas com restrição de raio horizontal.	Alta [1]
Baixo coeficiente de atrito do pavimento	Implantação de marcadores de alinhamento em curvas críticas.	Alta [3]
	Gerenciamento dos parâmetros de atrito de pavimentos, em especial em curvas, aproximações e rampas descendentes.	Alta [3]
Pontos de aquaplanagem e acúmulo de água na pista	Melhoria de seção transversal e da drenagem superficial.	Sem informações
Ausência de acostamentos pavimentados	Implantação de acostamentos pavimentados , inclusive com aumento de largura em curvas críticas.	Alta [1]
Ausência de Zona Livre adequada	Previsão de zona livre lateral livre e desobstruída , especialmente em rodovias de velocidades elevadas.	Alta [1]
	Remoção de obstáculos fixos , tais como árvores, postes, dispositivos de drenagem não traspassáveis.	Alta [1]
	Realocação de obstáculos fixos para locais em que representem menores riscos para a Segurança Viária.	Alta [1]



Fatores de risco	Contra medidas possíveis	Efetividade potencial
Ausência de Zona Livre adequada	Atenuação de taludes de corte e aterro , para enquadramento como recuperáveis e atravessáveis, e redesenhar os obstáculos físicos (como os dispositivos de drenagem), para que possam ser atravessados de maneira segura.	Moderada [1]
	Utilizar suportes que não constituam obstáculos fixos , ou seja, feitos de materiais menos rígidos e que possam minimizar o impacto, diminuindo a severidade do acidente.	Sem informações
	Implantação de dispositivos de contenção viária (barreiras e defensas) para proteção dos usuários em relação a obstáculos fixos, dispositivos de drenagem não traspessáveis e taludes críticos. Para a implantação dos dispositivos deve ser seguida a “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança — IP-DE-LO0/003” do DER/SP ou, na sua ausência, a NBR 15.486.	Alta [3]

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [3]

17.2.3 Colisão traseira

Colisões traseiras são acidentes frequentes na malha rodoviária paulista e apresentam alta severidade. Como já citado no início deste capítulo, dados da Polícia Rodoviária do Estado de São Paulo indicam que esses acidentes foram responsáveis por 19% do total de ocorrências e 16% dos acidentes com vítimas fatais, entre 2017 e 2021.

Em geral, colisões traseiras estão associadas a três situações: (i) engavetamentos, (ii) colisões com veículos parados ou veículos lentos à frente; e (iii) colisões em aproximações de interseções. Engavetamentos (i) são acidentes com grande potencial de severidade, sobretudo quando envolvem a colisão de veículos pesados com automóveis. Em geral, ocorrem quando há uma restrição da capacidade de tráfego, ocasionada por condições climáticas adversas, pontos de fiscalização ou pedágios, obras e serviços de manutenção, acidentes anteriores ou ondas de congestionamento.

Colisões com veículos parados (ii) ocorrem geralmente em casos de problemas mecânicos e de serviços de manutenção na via, que resultam em veículos parados na

pista. Colisões com veículos lentos à frente (ii), por sua vez, são mais comuns na presença de veículos pesados, os quais desenvolvem velocidades de tráfego mais baixas que veículos leves. Assim como em engavetamentos, colisões com veículos parados ou com veículos lentos à frente podem apresentar alta severidade em razão das velocidades operacionais da rodovia e da diferença de massa e energia dos veículos envolvidos.

Finalmente, os acidentes em aproximações de interseções (iii) costumam apresentar baixa severidade e ocorrem quando o veículo da frente interrompe abruptamente um movimento de acesso a uma faixa de tráfego, como em faixas de aceleração ou aproximações de rotatórias, por exemplo. Em casos dessa natureza, o condutor do veículo que colide não está em contato visual com o veículo situado à sua frente, mas avaliando intervalos na corrente de tráfego para decidir sobre seu acesso à via.

Fatores típicos que podem aumentar o risco de colisão traseira incluem [1]:

- velocidade inapropriada às condições de operação da via;
- grande diferencial de velocidade entre veículos;
- fluxo de tráfego instável em rodovias de alta velocidade (por exemplo, paradas repentinas durante períodos de maior movimento);
- configuração insatisfatória de interseções e seções de entrelaçamento;
- interseção inesperada ou fila de veículos em decorrência de uma onda de congestionamento;
- atividades de manutenção e de serviços de atendimento ao usuário na rodovia;
- fadiga do condutor e falta de atenção (por empenho em outras tarefas, como uso do celular);
- comprometimento das capacidades do condutor pelo uso de álcool/drogas/medicação;
- condições inadequadas de manutenção de pneus, luzes e freios do veículo.

O Quadro 17.4 apresenta os principais fatores de risco associados à via e as possíveis contramedidas para reduzir a ocorrência de colisões traseiras, além de apresentar as efetividades potenciais de cada contramedida na redução de acidentes.

Quadro 17.4: Principais contramedidas para a redução de colisões traseiras

Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
Diferencial de velocidade	Implantação de elementos de projeto que promovam a diminuição do diferencial de velocidade entre veículos, como rampas suaves, faixas adicionais, faixas de mudança de velocidade ou, ainda, medidas moderadoras de tráfego .	Alta [1]
	Redução do limite de velocidade.	Alta [1], [2]
	Implantação de sinalização de advertência , para informar o condutor a respeito de condições que podem exigir redução da velocidade, como a presença de interseções.	Sem informações
	Fiscalização da velocidade mínima — que não deve ser inferior à metade da velocidade máxima permitida.	Sem informações
Fluxo de tráfego instável	Implantação de faixa adicional ou duplicação da rodovia , caso a instabilidade do fluxo se deva às restrições de capacidade.	Alta [1]
	Realização de procedimentos operacionais para aviso aos condutores da condição operacional adversa à frente, por meio de equipes de campo, PMVs fixos e móveis ou luzes de advertência intermitentes.	Sem informações
	Implantação de sinalização horizontal e vertical mais adequada para trechos sujeitos à neblina e outras condições climáticas adversas.	Sem informações
	Pavimentação de acostamentos.	Alta [1]
	Formação de comboios rodoviários.	Sem informações
Configuração insatisfatória de interseções e seções de entrelaçamento	Aumento do comprimento das faixas de aceleração e desaceleração e do espaço para entrelaçamento ou ampliação do número de faixas.	Sem informações
	Implantação de faixa específica para movimentos de conversão .	Moderada [3]
	Implantação de vias marginais .	Alta [1]
	Revisão da geometria viária das vias secundárias nas aproximações de interseções para introduzir deflexões ou estreitamentos com o objetivo de induzir a redução de velocidade.	Sem informações



Fatores de risco	Constramedidas possíveis	Efetividade potencial
Atividades de manutenção e de serviços de atendimento ao usuário	Realização de procedimentos operacionais para aviso aos condutores da condição operacional adversa à frente, por meio de equipes de campo ou PMVs.	Sem informações

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [3]

17.2.4 Colisão frontal

As colisões frontais são geralmente as mais graves de todos os tipos de colisões entre veículos. A combinação da massa e da velocidade dos veículos geralmente resulta em consequências graves ou fatais para os ocupantes dos veículos [1]. No estado de São Paulo, entre 2017 e 2021, embora correspondessem a apenas 2% dos acidentes na malha rodoviária, foram responsáveis por 16% dos acidentes com vítimas fatais.

Mesmo nos veículos mais modernos, as chances de sobreviver a uma colisão frontal em velocidades acima de 70 km/h são bastante reduzidas. Para veículos mais antigos, ou em colisões envolvendo veículos de tamanhos diferentes, sobreviver a uma colisão é ainda menos provável, inclusive em velocidades muito mais baixas [1].

Normalmente, as colisões frontais com maior severidade ocorrem em ultrapassagens ou em movimentos mal avaliados, além de casos de perda de controle dos veículos e invasão da faixa de tráfego de sentido contrário. Os fatores típicos que podem aumentar o risco de colisão frontal incluem [1]:

- velocidade inapropriada à geometria da via;
- baixo controle de velocidade;
- ausência de oportunidades para ultrapassagem segura;
- ausência de segregação entre faixas de tráfego com sentidos opostos de circulação;
- delineamento insatisfatório, particularmente em curvas;
- baixa resistência à derrapagem do pavimento e superelevação inadequada;
- ausência de acostamentos pavimentados;

- erros de ultrapassagem, incluindo mau julgamento da velocidade do veículo que se aproxima;
- erro de julgamento das condições restritivas de uma curva;
- fadiga do condutor e falta de atenção (por empenho em outras tarefas, como uso do celular);
- comprometimento das capacidades do condutor pelo uso de álcool/drogas/medicação;
- condições inadequadas de manutenção de pneus, luzes e freios do veículo.

O Quadro 17.5 apresenta os principais fatores de risco associados à via e as possíveis contramedidas para reduzir a ocorrência de colisões frontais, além de apresentar as efetividades potenciais de cada contramedida na redução de acidentes.

Quadro 17.5: Principais contramedidas para a redução de colisões frontais

Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
Velocidade inapropriada	Regulamentação de velocidade mais adequada e segura para o local.	Alta [2]
	Implantação de linhas de estímulo à redução de velocidade nas aproximações de curvas com restrições de raio horizontal.	Sem informações
	Instalação de controles eletrônicos de velocidade em segmentos críticos ou nas aproximações de pontos críticos.	Alta [2]
	Implantação de sinalização horizontal com largura adicional, áreas zebradas e/ou sonorizadores.	Moderada [1], [2]
Ausência de oportunidades para ultrapassagem segura	Implantação de faixa adicional em segmentos com restrição de oportunidades de ultrapassagem.	Alta [1]
	Duplicação da rodovia.	Alta [1]
	Ampliação da superlargura da faixa de tráfego.	Alta [1]
	Pavimentação de acostamentos.	Alta [1]



Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
Ausência de segregação entre faixas de tráfego com sentidos opostos de circulação	Implantação de canteiros centrais sem barreira de separação.	Moderada [1]
	Implantação de dispositivos de contenção viária em canteiros centrais com limitações de segurança.	Alta [1], [3]
	Correção das geometrias horizontal e vertical da rodovia em casos de existência de curvas com raios restritivos, em desacordo com a classe da rodovia.	Alta [1]
	Melhoria da visibilidade.	Moderada [1]
Delineamento insatisfatório, particularmente em curvas	Implantação de delineadores ou balizadores laterais.	Moderada [2]
	Melhoria da sinalização horizontal com largura adicional, áreas zebradas e/ou sonorizadores.	Moderada [1], [2]
	Ampliação da largura da faixa de tráfego (superlargura).	Alta [1]
	Implantação de balizamento central com reforço de tachas retrorrefletivas ou cilindros delimitadores colapsíveis.	Alta [1]
	Pavimentação de acostamentos.	Alta [1]

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [3]

17.2.5 Colisão lateral

As colisões laterais são aquelas em que o impacto ocorre lateralmente em situações nas quais os veículos estão transitando na mesma direção, podendo ser no mesmo sentido ou em sentidos opostos. O ângulo da colisão deve ser oblíquo, diferente de 90 graus.

Entre os anos de 2017 e 2021, as colisões laterais foram responsáveis por 13% do total de acidentes da malha rodoviária paulista. Em relação aos acidentes com vítimas fatais, representaram 6% desse universo no mesmo período.

No contexto rodoviário, em geral, colisões laterais ocorrem em situações de mudança de faixa de tráfego, que normalmente são realizadas em ultrapassagens, movimentos de convergência ou entrelaçamento, ou ainda em situações de perda de controle do veículo, fadiga ou uso de substâncias lícitas ou ilícitas pelos condutores, seguida de invasão da faixa adjacente, especialmente em curvas. Esse tipo de acidente pode ocorrer também em travessias urbanas com intensa atividade nas margens da rodovia. Nesses casos, as colisões laterais ocorrem em manobras de estacionamento, quando um veículo deixa a vaga de estacionamento e colide com outro veículo que está em circulação.

Os fatores típicos que podem aumentar o risco de colisão lateral incluem [1]:

- velocidade inadequada em curvas;
- condições inadequadas de visibilidade nas faixas de acesso à rodovia ou em seções de entrelaçamento;
- comprimento inadequado de seções de entrelaçamento;
- estacionamento em travessias urbanas;
- sobrecarga ou deficiência da sinalização de orientação (muitas decisões de direção a serem tomadas ao mesmo tempo ou falta de informações para a tomada de decisão);
- mudança de faixa de tráfego não sinalizada pelo condutor;
- fadiga do condutor e falta de atenção (por empenho em outras tarefas, como uso do celular);
- comprometimento das capacidades do condutor pelo uso de álcool/drogas/medicação;
- condições inadequadas de manutenção de pneus, luzes e freios do veículo.

O Quadro 17.6 apresenta os principais fatores de risco associados à via e as possíveis contramedidas para reduzir a ocorrência de colisões laterais, além de apresentar as efetividades potenciais de cada contramedida na redução de acidentes.

Quadro 17.6: Principais contramedidas para a redução de colisões laterais

Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
Velocidade inadequada em curvas	Implantação de linhas de estímulo à redução de velocidade nas aproximações de curvas com restrições de raio horizontal.	Sem informações
	Instalação de controles eletrônicos de velocidade.	Alta [2]
	Implantação de sinalização horizontal com largura adicional, áreas zebradas e/ou sonorizadores.	Moderada [1], [2]
Condições inadequadas de visibilidade nas faixas de acesso à rodovia ou em seções de entrelaçamento	Melhoria das distâncias de visibilidade por ajustes geométricos ou retirada de obstruções visuais.	Moderada [1]
	Gerenciamento de acessos.	Alta [1] [3]
	Gerenciamento da velocidade , incluindo redução pontual da velocidade regulamentada e fiscalização eletrônica.	Alta [2]
	Implantação de iluminação.	Alta [3]
	Medidas de delineamento nas alças e acessos de interseções e seções de entrelaçamento.	Moderada [1]
Comprimento inadequado de seções de entrelaçamento	Alargamento da faixa de tráfego.	Sem informações
	Ajuste geométrico com ampliação do comprimento de entrelaçamento.	Sem informações
	Gerenciamento da velocidade , incluindo redução pontual da velocidade regulamentada e fiscalização eletrônica	Alta [2]
Sobrecarga ou deficiência no fornecimento de informações	Alargamento da faixa de tráfego.	Sem informações
	Rever ou implantar sinalização de orientação de tráfego adequada , prevendo informações com antecedência e confirmações dos movimentos necessários.	Sem informações
Mudança de faixa de tráfego não sinalizada pelo condutor	Implantação de sinalização horizontal com largura adicional e/ou sonorizadores.	Moderada [1], [2]

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [3]

17.2.6 *Tombamento*

Os acidentes classificados como tombamento envolvem situações em que o veículo sai de sua posição normal, com os pneus apoiados no chão, e fica imobilizado sobre sua lateral, frente ou traseira. Esse tipo de acidente respondeu, em média, por 10% do total de acidentes da malha rodoviária paulista entre 2017 e 2021.

Tombamentos podem ser consequências de colisões precedentes, como colisões laterais ou saídas de pista. Nesses casos, as contramedidas devem ser adotadas de acordo com os acidentes que originaram o tombamento.

As ocorrências em que tombamentos não são consequência de acidentes precedentes estão relacionadas a velocidades inapropriadas em determinados trechos de rodovias, de maneira especial, em curvas de raios reduzidos. Situações como essas contam ainda com dois agravantes importantes: o primeiro deles é a condição de rampa descendente acentuada, comum em trechos montanhosos, o segundo agravante é o tipo de veículo, sendo que veículos pesados ou altos têm maiores riscos de envolvimento em acidentes dessa tipologia.

Os fatores típicos que podem aumentar o risco de ocorrência de tombamentos, sem que eles sejam decorrentes de outro acidente, incluem:

- velocidade inapropriada para o trecho rodoviário;
- ocorrência de curvas críticas, seja em relação aos raios de curvatura ou à superelevação;
- condições inadequadas nas laterais das vias, como desníveis ou sistema de drenagem não traspassável;
- perda das condições funcionais do sistema de freio, em especial para veículos pesados;
- fadiga do condutor e falta de atenção (por empenho em outras tarefas, como uso do celular);
- comprometimento das capacidades do condutor pelo uso de álcool/drogas/medicação;
- condições inadequadas de manutenção de pneus, luzes e freios do veículo.

O Quadro 17.7 apresenta os principais fatores de risco associados à via e as possíveis contramedidas para reduzir a ocorrência de tombamentos, além de apresentar as efetividades potenciais de cada contramedida na redução de acidentes.

Quadro 17.7: Principais contramedidas para a redução de tombamentos

Fatores de risco	Contramedidas possíveis	Efetividade potencial
Velocidade inapropriada	Implantação de linhas de estímulo à redução de velocidade nas aproximações de curvas com restrições de raio horizontal.	Sem informações
	Instalação de controles eletrônicos de velocidade.	Alta [2]
	Implantação de sinalização horizontal com largura adicional, áreas zebradas e/ou sonorizadores.	Moderada [1], [2]
Ocorrência de curvas críticas	Implantação de sinalização de advertência ostensiva precedendo curvas críticas.	Sem informações
	Correção geométrica de curvas críticas , incluindo aumento do raio e/ou implantação de superelevação adequada.	Sem informações
Condições inadequadas nas laterais das vias	Previsão de zona livre lateral livre e desobstruída , especialmente em rodovias de velocidades elevadas.	Alta
	Remoção de obstáculos fixos , tais como dispositivos de drenagem não traspassáveis.	Alta [1]
	Atenuação de taludes de corte e aterro , para enquadramento como recuperáveis e atravessáveis, e redesenhar os obstáculos físicos (como os dispositivos de drenagem), para que possam ser atravessados de maneira segura.	Moderada [1]
	Implantação de dispositivos de contenção viária (barreiras e defensas) para proteção dos usuários em relação a obstáculos fixos (como desníveis), dispositivos de drenagem não traspassáveis e taludes críticos. Para a implantação dos dispositivos deve ser seguida a “Instrução de Projeto: Projeto de Dispositivos de Segurança — IP-DE-L00/003” do DER/SP ou, na sua ausência, a NBR 15.486.	Alta [3]
Perda das condições funcionais do sistema de freio	Implantação de rampas de escape (ou leito de frenagem) em trechos montanhosos.	Sem informações

Fonte: elaborado pelo autor com base em [1], [2], [3]

17.3 Outras situações de risco recorrentes em rodovias do estado de São Paulo

Além das tipologias de acidentes com maior incidência e de maior severidade na malha paulista, também é importante destacar fatores e situações de risco recorrentes, assim como contramedidas consagradas pela experiência do DER/SP e na literatura técnica sobre o assunto.

Saídas de pista, por exemplo, são ocorrências comuns e podem incorrer em diversos tipos de acidentes como choques, tombamentos, capotamentos, quedas e outros menos prováveis, como colisões traseiras. Esses acidentes podem resultar em consequências graves ou, até mesmo, fatais para os envolvidos, a depender das demais condições e fatores de risco presentes no momento da ocorrência. Geralmente, a velocidade inapropriada é um fator de risco frequente nesses casos, em especial, em situações de curvas horizontais acentuadas ou sem superelevação adequada ou ainda precedidas de longas tangentes em rampa descendente.

Situações de saídas de pista são provocadas pela perda do controle do veículo, que deixa de circular pela área pavimentada e atinge as laterais da rodovia ou o canteiro central. Por isso, conforme abordado no “Capítulo 8 — Projeto seguro das laterais das vias”, zonas livres de obstáculos devem ser previstas, garantindo que elementos como dispositivos de drenagem sejam traspassáveis, suportes de sinalização ou postes de iluminação sejam adequadamente posicionados ou colapsíveis, e estruturas e edificações tenham distâncias seguras do bordo da pista. Caso isso não seja possível ou viável, dispositivos de contenção viária devem ser adequadamente instalados. No caso de curvas horizontais, pode ser necessário o controle da velocidade de aproximação, a correção da geometria para raios de maiores dimensões ou a implantação de superelevações.

Contramedidas de menor custo também podem ser empregadas, como a melhoria do delineamento da pista, a utilização de linhas de bordo de maior largura e o emprego de sonorizadores. A utilização de linhas de bordo com maior largura, por exemplo, tem potencial de redução de acidentes maior que 37%, enquanto a implantação sequencial de marcadores de alinhamento podem reduzir em cerca de 60% dos acidentes com

mortos e feridos graves [3]. Já a implantação de sonorizadores nas linhas de bordo podem reduzir até 51% dos feridos graves e mortos nos acidentes com origem em saídas de pista [3].

Outro ponto de atenção ao avaliar a Segurança Viária são as travessias urbanas, como aborda o “Capítulo 10 — Travessias urbanas”. Acidentes comuns a travessias urbanas, como atropelamentos e colisões transversais, apresentam alto risco de severidade e ocorrem principalmente em travessias classificadas como tipos II e III neste Manual. Em razão disso, pode ser prevista a implantação de contornos rodoviários para áreas urbanizadas, sobretudo quando outras contramedidas de menor custo não forem recomendadas ou não se provarem eficazes. Entretanto, é necessário garantir que, a longo prazo, não se repita a mesma situação ao longo do contorno; isto é, acessos não controlados à rodovia, atividades comerciais e de serviços no entorno e a presença de usuários vulneráveis.

A segurança em zonas de obras ou serviços na rodovia também merecem atenção especial, como trata o “Capítulo 16 — Operação segura da rodovia”. Em geral, tais acidentes ocorrem devido à necessidade de adaptação da forma de condução do motorista frente a uma situação anormal na rodovia, exigindo redução da velocidade, mudança de faixa ou utilização de um desvio. Assim, o diferencial de velocidade e a quebra de expectativa do motorista podem atuar como fatores de risco que contribuem para a ocorrência e severidade dos acidentes.

A execução de obras pressupõe, ainda, a circulação de equipamentos pesados e a presença de trabalhadores, tornando alto o risco de acidentes com maior severidade. Essa situação é ainda mais crítica no período noturno. Por essas razões, é necessário que as obras na rodovia sejam devidamente informadas e sinalizadas com antecedência, sendo necessário prever canalização, dispositivos de balizamento e luzes de advertência.

Por fim, destaca-se a necessidade de prever tratamentos de segurança para acidentes relacionados a atropelamentos de animais que cruzam a rodovia, sendo essa situação mais comum em zonas rurais ou adjacentes a ambientes naturais preservados. Por vezes, os atropelamentos envolvem animais de grande porte, podendo acarretar acidentes de maior severidade. Em razão disso, é necessário garantir o cercamento

eficaz da faixa de domínio para a preservar o ambiente rodoviário. Também é indicada a previsão de passagens de fauna, nos casos de ambientes naturais preservados.

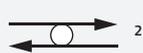
Todas as situações destacadas neste capítulo e outras questões relacionadas à Segurança Viária, foram abordadas nos demais capítulos deste Manual. Os Capítulos 6 a 9, por exemplo, abordam com detalhes a elaboração de projetos seguros de rodovias, destacando as principais questões de segurança relacionadas aos diversos elementos de projeto, como geometria da via, laterais das vias, dispositivos de interseção (de entroncamento) e de acessos, além de questões de segurança relacionadas a conceitos como consistência e legibilidade da via. Os Capítulos 10 e 11 apresentam as melhores práticas, nacionais e internacionais, para atender com segurança diferentes demandas de tráfego e diferentes usuários da via (condutor, pedestres, ciclistas). Além disso, o Capítulo 13 aborda a seleção de contramedidas para projetos de Segurança Viária, sendo apresentada uma lista das principais contramedidas, com efetividade comprovada, que podem ser adotadas para melhoria da segurança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Road Assessment Programme (iRAP). **Road Safety Toolkit**. Disponível em: <https://toolkit.irap.org/>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- [2] ESTADOS UNIDOS, Global Road Safety Facility; World Bank. **Guide for Road Safety Interventions: Evidence of What Works and What Does Not Work**. Washignton, DC., Estados Unidos, 2021.
- [3] ALBEE, Matt; BOBITZ, Phillip. **Making Our Roads Safer: One Countermeasure at a Time**. Federal Highway Administration, Department of Transportation. Estados Unidos, 2021.

ANEXO A

Símbolos gráficos dos diagramas de acidentes dos relatórios de acidentes de trânsito (ABNT NBR 10696/2015)

Significado	Símbolos – Diagrama de acidente
1. Veículo em movimento a. Marcha à frente b. Marca à ré	a.  b. 
2. Veículo estacionado ou parado	
3. Veículo em movimento ou em pista molhada	
4. Pedestre a. Indicando o sentido de circulação b. Com sentido de circulação ignorado c. Pedestre parado	a.  b.  c. 
5. Obstáculos à circulação	
6. Sinal semafórico	
7. Placa de sinalização	
8. Leito de estrada de ferro	
9. Colisão traseira a. Marcha à frente b. Um veículo em marca à ré c. Ambos os veículos em marcha à ré	a.  b.  c. 
10. Colisão frontal de veículos a. Veículos em sentidos contrários b. Um veículo em marca à ré	a.  b. 
11. Colisão transversal a. Em ângulo reto b. Outros	a.  b.  
12. Colisão lateral a. Veículos em sentidos contrários b. Veículos no mesmo sentido	a.  b. 
13. Capotamento ou tombamento	 
14. Descontrole do veículo	 

Significado	Símbolos – Diagrama de acidente
15. Acidente com vítima	
16. Acidente com vítima leve	
17. Acidente com vítima fatal ou ferimentos graves	
18. Pedestre com ferimento leve	
19. Pedestres com ferimentos grave ou fatais	

¹ Representar a gravidade dos ferimentos do pedestre, conforme itens 18 e 19

² Representar a existência ou não de vítima e a gravidade de seus ferimentos conforme item 15, 16 e 17

Fonte: Norma ABNT NBR 10696//2015

ANEXO B

Exemplo de checklist (Lista de Verificação) para Projeto Executivo

Questões	Sim	Não	Comentários
1. Gerais			
As condições para as quais a configuração foi originalmente projetada ainda se aplicam? (ou seja, não houve mudança significativa no entorno da rede, na área a ser atendida, ou na composição de tráfego)			
O projeto permaneceu inalterado desde a auditoria anterior? (se houver)			
A segurança está mantida em caso de algum desvio dos padrões das normas?			
As medidas de proteção ambiental atendem à Segurança Viária? (por exemplo, passagem de fauna)			
O projeto lida adequadamente com os elementos que compõem as infraestruturas subterrâneas e aéreas? (poços de visitas, gabaritos verticais)			
Todos os elementos de controle de tráfego são projetados de forma a evitar a criação de condições inseguras?			
2. Alinhamento horizontal e vertical			
O alinhamento horizontal é consistente e apropriado ao longo de todo o projeto?			
O alinhamento vertical é consistente e apropriado ao longo de todo o projeto?			
Os alinhamentos são coerentes com a classe da rodovia?			
A coordenação dos alinhamentos horizontal e vertical está livre de inconsistências?			



Questões	Sim	Não	Comentários
Os raios das conversões são adequados à classe e à velocidade da rodovia?			
As alças de entrada, saída e aproximações são adequadas ao volume, composição e velocidade de tráfego?			
A declividade longitudinal e o comprimento de rampa estão adequados à classe da rodovia, à composição do tráfego e à velocidade regulamentada?			
O projeto consegue minimizar pontos de ofuscamentos no nascer e pôr-do-sol?			
Caso o projeto seja apenas um estágio de uma ampliação ou duplicação, ele está transmitindo adequadamente essa mensagem aos motoristas? (a dependência de sinalização é mínima ao invés de excessiva?)			
3. Legibilidade do alinhamento			
Os motoristas são capazes de visualizar, com antecedência necessária, as configurações e as características da rodovia, para adaptar seu comportamento?			
As velocidades operacionais são adequadas e os motoristas são capazes de acompanhar corretamente o traçado da via?			
O projeto viário está livre de elementos externos que possam levar à confusão dos motoristas? (por exemplo, ilusões visuais ou delineamento de postes de iluminação que possam gerar indecisões ou erros dos motoristas)			
4. Seção transversal			
As larguras das faixas de rolamento, acostamentos, canteiros, refúgios centrais e outras características da seção transversal são adequadas para a classe da rodovia?			



Questões	Sim	Não	Comentários
O número de faixas de rolamento é adequado à combinação de velocidade, volume e composição de tráfego?			
A transição de pista simples para pista dupla (em ambos os sentidos) é tratada com segurança?			
A superelevação é adequada onde se faz necessária?			
A superelevação concorda com o terreno lateral de forma segura?			
As declividades transversais são seguras? (particularmente a adequação de acessos a rodovias existentes, estreitamentos em pontes, acostamentos, faixas adicionais etc.)			
As seções planas são evitadas ou tratadas de forma adequada no início/fim da superelevação?			
A consistência de padrões e diretrizes gerais (como largura da pista e declividades transversais) são mantidas ao longo de todo o traçado?			
5. Distâncias de visibilidade			
A velocidade regulamentada está adequada em relação à distância de visibilidade?			
Os alinhamentos horizontais e verticais são consistentes com os requisitos de visibilidade?			
O projeto está livre de quaisquer características locais que possam afetar a visibilidade?			
O ângulo de visibilidade é adequado em rampas de entrada e saída, faixas de aceleração e desaceleração, interseções, passagens de pedestres e ciclistas e outros pontos de conflito?			



Questões	Sim	Não	Comentários
A visibilidade é mantida sem obstruções mesmo na presença de barreiras de segurança, sinalização vertical e/ou entradas e saídas de pontes e viadutos?			
O terreno e a vegetação do entorno permitem manter a visibilidade nas interseções, curvas, acessos e travessias de pedestres?			
Os cruzamentos rodoferroviários, pontes e outras situações de risco são claramente visíveis?			
O projeto está livre de obstruções aéreas (por exemplo, viadutos, pórticos de sinalização, árvores) que possam limitar a distância de visibilidade em curvas acentuadas?			
Os trechos de ultrapassagem fornecidos são adequados?			
Existem faixas de ultrapassagem onde necessário e são iniciadas e terminadas com segurança?			
6. Pavimento			
A necessidade de superfície antiderrapante foi considerada onde a frenagem ou a boa aderência à rodovia são pontos essenciais? (especialmente em rampas, curvas e aproximações de interseções)			
7. Drenagem			
A drenagem da rodovia está adequada?			
As declividades transversais são satisfatórias para a Segurança Viária?			
Os elementos de drenagem são traspassáveis, ou seja, não são obstáculos fixos acima do solo (≤ 10 cm)?			
O projeto da grelha de drenagem é seguro para ciclistas? (ou seja, os vãos não são paralelos ao trilho de roda das bicicletas)			



Questões	Sim	Não	Comentários
8. Sinalização horizontal e vertical			
A sinalização horizontal e vertical está adequada à classe e à velocidade da rodovia?			
A sinalização horizontal e vertical está de acordo com os padrões de segurança mais modernos?			
A sinalização horizontal e vertical define adequadamente o delineamento da rodovia?			
A sinalização horizontal e vertical faz uso de materiais retrorrefletivos que sejam visíveis no período noturno e em condições climáticas adversas (como chuva, neblina etc.)?			
8.1 Sinalização vertical			
As placas de sinalização estão localizadas com distância de visibilidade suficiente para que possam ser lidas com a antecedência necessária para o motorista adaptar seu comportamento e realizar manobras seguras?			
As placas são facilmente compreendidas?			
A sinalização vertical é adequada às necessidades dos motoristas? (por exemplo, placas de orientação e placas de advertência, placas de regulamentação de velocidade etc.)			
A localização e a dimensão das placas de sinalização permitem que a visibilidade da via seja mantida em acessos, interseções e travessia de pedestres?			
Evitou-se uma dependência excessiva de placas de sinalização, priorizando um projeto geométrico mais seguro?			
As placas de sinalização na nova configuração são consistentes com aquelas na seção adjacente da rodovia (ou as placas anteriores precisarão ser atualizadas)?			



Questões	Sim	Não	Comentários
A sinalização de advertência de curvas, regulamentação de velocidade e marcadores de alinhamento estão presentes onde necessário?			
8.2 Sinalização horizontal			
As marcações no pavimento (linhas, faixas, setas e legendas) são consistentes com os padrões de segurança mais modernos?			
Identificou-se locais onde o padrão de marcações pode ser confuso ou mal interpretado e se tratou de uma forma que considera as respostas prováveis dos usuários da rodovia?			
As linhas de marcações de proibição de ultrapassagem estão presentes onde necessário?			
A sinalização horizontal com sonorizadores está presente onde necessária?			
As marcações na nova configuração são consistentes com aquelas da seção adjacente da rodovia (ou as marcações anteriores precisarão ser atualizadas)?			
As marcas longitudinais (linhas demarcadoras e linhas de borda) são visíveis à noite e em condições climáticas adversas (como chuva, neblina etc.)?			
9. Iluminação			
A iluminação foi prevista adequadamente quando necessária?			
O projeto está livre de obstruções que interrompam a iluminação? (por exemplo, árvores ou pontes)			
O projeto de iluminação está livre de efeitos adversos que comprometam a legibilidade dos elementos de sinalização horizontal e vertical?			
Os entroncamentos estão adequadamente iluminados onde necessário?			



Questões	Sim	Não	Comentários
As faixas de aceleração, <i>tapers</i> de entrada e agulhas estão adequadamente iluminadas onde necessário?			
Foi implantada iluminação adequada nos locais onde essa pode reduzir a ocorrência de acidentes?			
Foi considerada a necessidade de dispositivos antiofuscante?			
O projeto está livre de interferências negativas da iluminação adjacente?			
A transição da iluminação em túneis é adequada?			
10. Zona livre lateral			
Existe zona livre adequada para a velocidade da rodovia?			
A zona livre lateral está livre de obstáculos fixos?			
Os taludes localizados dentro da zona livre lateral são traspassáveis por qualquer veículo que saia da rodovia?			
As estruturas de drenagem, localizadas dentro da zona livre lateral, são traspassáveis por qualquer veículo que saia da rodovia?			
Tomou-se as medidas necessárias para tratar os riscos de obstáculos fixos, taludes críticos e estruturas de drenagem não traspassáveis presentes na zona livre lateral? (remover, redesenhar, relocar, reduzir a severidade, instalar dispositivo de contenção ou delinear)			
O plantio de árvores foi evitado dentro da zona livre lateral da rodovia?			
Os taludes de corte têm superfície segura?			



Questões	Sim	Não	Comentários
A largura dos canteiros centrais é suficiente para a implantação de suportes e estruturas com suas respectivas proteções?			
Onde necessário, foram utilizados suportes colapsíveis para placas de sinalização e iluminação?			
Onde necessário, foram implantados dispositivos de contenção para proteger os usuários de obstáculos fixos, taludes críticos e estruturas de drenagem não traspassáveis presentes na zona livre?			
11. Dispositivos de contenção			
11.1 Dispositivos de contenção lateral			
Os dispositivos de contenção foram instalados e devidamente detalhados onde necessário? (por exemplo, em taludes de aterros, mobiliário rodoviário, árvores, postes, estruturas de drenagem, pontes, narizes etc.)			
O dispositivo de contenção é seguro? (ou seja, é improvável que crie um perigo para os usuários da rodovia, incluindo pedestres, ciclistas, motociclistas etc.)			
Os terminais dos dispositivos de contenção são seguros e eficientes?			
As defensas são projetadas com comprimento e nível de contenção de acordo com as necessidades? (com terminais de início e término seguros, ancoragens, sobreposição correta das lâminas e com transição e conexão para barreiras rígidas)			
As barreiras rígidas são projetadas com comprimento e nível de contenção de acordo com as necessidades? (formato seguro, continuidade, aberturas seguras, terminais e fundação se necessário)			



Questões	Sim	Não	Comentários
O dispositivo de contenção é necessário? (ou seja, o obstáculo atrás do dispositivo é um perigo maior do que ele?)			
A parte traseira dos dispositivos de contenção viária é segura para a circulação de pedestres e ciclistas ?			
11.2 Dispositivos de contenção em canteiros centrais			
Os dispositivos de contenção em canteiros centrais foram considerados e devidamente detalhados onde necessário?			
Foram considerados terminais de início seguros ou amortecedores de impacto?			
11.3 Pontes, galerias e viadutos			
As barreiras de proteção de pontes e viadutos e os muros de ala de galerias são seguros? (em relação a conexão de dispositivos de segurança, terminais absorvedores de energia, proteção dos usuários contra riscos na lateral da via e possibilidade de quedas de veículos em terreno inferior)			
O guarda-corpo de pontes e viadutos tem altura e rigidez suficiente?			
A largura do acostamento em pontes e viadutos é a mesma que nos segmentos adjacentes?			
Foram instaladas proteções seguras para o tráfego não veicular sobre pontes, viadutos e galerias onde necessário? (por exemplo, pedestres, ciclistas etc)			
12. Segurança de acessos (incluindo acessos de áreas de serviço)			
Todos os acessos podem ser usados com segurança?			
Os entroncamentos da rodovia são seguros?			



Questões	Sim	Não	Comentários
A quantidade e a localização dos acessos são adequadas às características da via?			
O projeto está livre de influências negativas no tráfego à jusante ou à montante dos acessos, particularmente próximo às interseções?			
A visibilidade é adequada para motoristas e pedestres nos acessos propostos?			
As áreas de serviços de apoio aos caminhões têm distância de visibilidade adequada nos pontos de acesso?			
O acesso de veículos de emergência é adequado?			
13. Interseções			
Os motoristas são capazes de identificar a existência da interseção e seu traçado corretamente e com antecedência necessária para adaptar seu comportamento?			
A geometria da interseção é consistente com a classe e a velocidade das rodovias?			
As interseções e acessos são adequados para todos os movimentos de veículos?			
As velocidades de aproximação e as posições prováveis dos veículos trafegando ao longo da interseção são seguras?			
Foram usados veículos de projeto apropriados para o dimensionamento de raios de giro?			
A prioridade de movimento está claramente definida em todos os ramos das interseções e nas vias de acesso? (há sinalização adequada?)			
O projeto está livre de elementos que possam levar à confusão dos motoristas?			
Os alinhamentos horizontais e verticais na interseção ou nas suas aproximações são consistentes com os requisitos de visibilidade?			



Questões	Sim	Não	Comentários
Os cruzamentos rodoferroviários, pontes e outras situações de risco são claramente visíveis?			
O projeto está livre de quaisquer características locais que possam afetar a visibilidade?			
As interseções estão livres de quaisquer características incomuns que possam afetar a segurança no trânsito?			
Existe gabarito vertical adequado para as estruturas? (por exemplo, linhas de alta tensão)			
As interseções têm comprimento e armazenamento de fila adequado para movimentos de conversão?			
Existem ilhas de canalização e baias onde necessário?			
Canteiros centrais e ilhas são atravessáveis para os veículos fora de controle e tratados com segurança? (verificar quanto a trajetórias dos veículos, espaço e superfície para acomodação de pedestres, espaço livre para conversão e distância de visibilidade até o nariz físico)			
13.1 Rotatórias			
Existe deflexão adequada para reduzir as velocidades de aproximação?			
As ilhas de aproximação são adequadas para a distância de visibilidade, comprimento, armazenamento de pedestres etc.?			
O veículo de projeto apropriado pode ser acomodado na rotatória?			
Os componentes da ilha central têm um desenho satisfatório? (delineamento, área galgável, visibilidade)			



Questões	Sim	Não	Comentários
Os pedestres podem ser vistos pelos motoristas com a antecedência necessária para adaptar seu comportamento e realizarem manobras com segurança?			
Os pedestres conseguem visualizar se os veículos estão realizando conversões? (sem obstruções às linhas de visão)			
A iluminação é adequada?			
14. Pontes, túneis e viadutos			
A seção transversal da rodovia para a ponte, túnel ou viaduto é mantida?			
A transição da seção transversal da rodovia para a ponte, túnel ou viaduto é tratada de forma segura?			
Pontes, túneis e viadutos receberam sinalização correta com distância de visibilidade adequada?			
15. Provisão para usuários vulneráveis			
Foram fornecidas instalações adequadas para pedestres e ciclistas, onde necessário?			
15.1 Pedestres			
As travessias de pedestres são adequadas e localizadas em locais seguros?			
Os pedestres podem atravessar com segurança a rodovia, interseções, pontes e viadutos?			
Foram consideradas calçadas e medidas de <i>traffic calming</i> onde necessário?			
Os locais de travessia possuem visibilidade adequada em cada direção e atendem todos os seus usuários?			
Foram implantados gradis ou refúgios onde necessário?			



Questões	Sim	Não	Comentários
As autoestradas estão adequadamente bloqueadas para pedestres?			
Os pedestres são impedidos de atravessar rodovias em locais inseguros?			
A largura e a inclinação das travessias de pedestres, cruzamentos etc. são satisfatórias?			
A pavimentação de vias de pedestres, travessias etc. é satisfatória?			
A sinalização para pedestres é apropriada e adequada?			
A iluminação é satisfatória para cada travessia?			
Existem meios-fios rebaixados onde necessário?			
Canais e valetas foram evitados nas travessias de pedestres?			
15.2 Ciclistas			
Existe infraestrutura destinada à circulação de ciclistas onde necessário?			
A infraestrutura dedicada está localizada com segurança em relação aos movimentos dos veículos (afastada ou segregada)?			
A infraestrutura de ciclovias / passeios compartilhados (incluindo passagens subterrâneas e pontes) são seguras, devidamente sinalizadas e iluminadas?			
As interseções são seguras para os ciclistas?			
15.3 Motociclistas			
A lateral da rodovia está livre de obstruções que possam representar um risco aos motociclistas?			



Questões	Sim	Não	Comentários
A sinalização ou delineamento são adequados para os motociclistas?			
Caixas de captação e bueiros podem ser percorridos por motocicletas?			
Existe previsão de elementos de proteção aos motociclistas onde necessário?			
15.4 Animais			
Existe vedação da faixa de domínio e infraestrutura para passagem de rebanhos onde necessário?			
Existe passagem de fauna onde necessário?			
16. Veículos pesados			
A rodovia é capaz de lidar com veículos de grande porte com segurança, como caminhões, ônibus, veículos de emergência, veículos de manutenção de rodovias?			
São fornecidas áreas de conversão adequadas para veículos longos em locais seguros?			
Os gabaritos mínimos são atendidos?			
Foi considerada a necessidade de faixas adicionais de ultrapassagem nas rampas críticas?			
Foi considerada a sobrelargura em curvas acentuadas?			
16.1 Transporte público			
A infraestrutura dos serviços de transporte público (pontos de parada de ônibus) está localizada com segurança?			
Os pontos de parada de ônibus são seguros?			
Os pontos de parada de ônibus estão associados a rotas seguras de travessias de pedestres?			



Questões	Sim	Não	Comentários
17. Interface do projeto com a malha existente			
Foram consideradas implicações para a segurança nas interfaces entre a nova rodovia e a rodovia existente?			
A interface é localizada longe o suficiente de qualquer local de risco? (por exemplo, curvas verticais, curvas horizontais, perigos nas laterais da rodovia ou pontos com visibilidade limitada)			
Onde há mudança nas configurações gerais da rodovia a transição é feita com segurança? (por exemplo, urbano para rural; segregado para não segregado; iluminado para não iluminado)			
Foram adotadas medidas de segurança adequadas nos locais onde existem mudanças abruptas na velocidade?			
A mudança dos padrões das faixas de rolamento é efetuada com segurança, onde necessário?			
Há sinalização clara e inequívoca de mudança de padrão da rodovia, quando a rodovia existente apresenta um padrão inferior à nova rodovia?			
A necessidade de sinalização de advertência foi considerada?			
O projeto trata com segurança os acessos aos principais polos geradores de tráfego adjacentes que estão sendo desenvolvidos?			
18. Condições climáticas adversas			
O projeto levou em consideração registros meteorológicos ou experiências locais que possam indicar um problema específico? (por exemplo: chuvas intensas, vento, neblina)			



Questões	Sim	Não	Comentários
<p>A segurança permanecerá adequada com as variações climáticas sazonais? (por exemplo, visibilidade reduzida, sombreamento ou ofuscamento, superfície escorregadia)</p>			
19. Segurança de projeto em fases			
<p>Se o projeto for executado em estágios ou em épocas diferentes:</p>			
<p>— os cronogramas das etapas de construção foram elaborados de forma a garantir a segurança?</p>			
<p>— os cronogramas das etapas de construção incluem medidas específicas de segurança (como sinalização, geometria de transição adequada etc.) para quaisquer cenários temporários?</p>			
<p>Se a obra for dividida em vários subprojetos, a ordem é segura? (ou seja, os estágios são construídos em uma ordem que não crie condições inseguras)</p>			
20. Operação do tráfego			
<p>Há previsão de alguma operação de tráfego rotineira ou especial na rodovia e está tratada com segurança?</p>			
<p>O projeto tem aberturas operacionais de emergência nos canteiros centrais localizadas com segurança? (portões de abertura de emergência)</p>			
21. Considerações finais			
<p>Considerou-se outras questões que possam ter relação com a segurança?</p>			

Fonte: elaborado pelo autor com base em **Guide to Road Safety Part 6A: Implementing Road Safety Audits** v. 148, Austroads, 2019.

ANEXO C

Ficha de Registro de Conflito de Tráfego

Observador: _____ Data: _____ Horário: _____ Número: _____

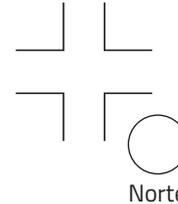
Cidade: _____

Intersecção: _____

Condições de Tempo: Sol Encoberto Chuva

Superfície: Seca Molhada

Intervalo de Tempo



	Usuário I	Usuário II	Envolvido secundário III
Veículo:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bicicleta:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedeste:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outro:	_____	_____	_____
Sexo (ped.)	M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>	M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>	M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>
Idade (ped.)	_____	_____	_____
Velocidade:	_____ km/h	_____ km/h	_____ km/h
Distância do ponto de colisão:	_____ ms	_____ ms	
Valor do TA:	_____ seg	_____ seg	
Ação de evitar			
Frenagem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Desvio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Aceleração	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Possibilidade de desviar	sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	sim <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	

CROQUI INCLUINDO A POSIÇÃO DO USUÁRIO ENVOLVIDO

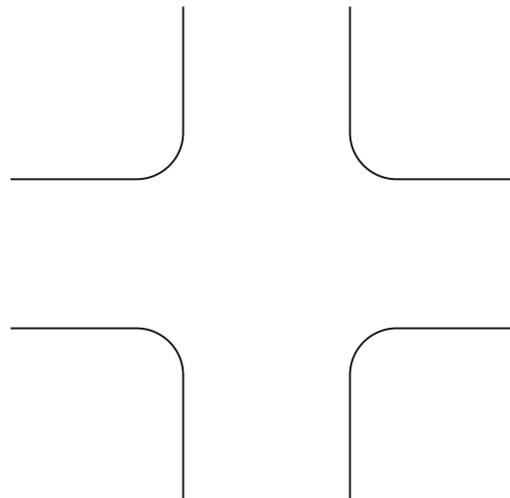
POR FAVOR MARQUE SUA POSIÇÃO COM



(SE UMA VIDEO FILMADORA ESTIVER SENDO USADA



MARQUE A POSIÇÃO DA CAMARA COM



- Veículo particular, Caminhão, Ônibus
- Bicicleta, Motorista
- Pedestre

_____ sim não

Descrição das causas do evento:

Fonte: Traduzido de **The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique**. HYDÉN, C. Berkeley, CA: Bulletin Lund Institute of Technology, 1987

GLOSSÁRIO

Na sequência, são apresentadas definições de alguns termos importantes para este Manual.

acidentalidade — conjunto de informações que envolvem os acidentes de trânsito e embasam os dados das ocorrências sob diversos aspectos, fornecendo referências para a análise e adoção de contramedidas.

acidente com vítima — acidente de trânsito que resulta em lesões físicas a pelo menos um dos envolvidos, independentemente da gravidade da lesão.

acidente com vítima fatal — acidente de trânsito que resulta na morte de pelo menos um dos envolvidos no local do acidente ou que evolua para morte em até 30 dias após a ocorrência do acidente.

acidente, acidente de trânsito — evento inesperado que ocorre subitamente em vias abertas à circulação e em seus entornos, envolvendo pelo menos um veículo e podendo resultar em danos e/ou perdas humanas e econômicas.

acostamento — espaço lateral, contíguo à pista de rolamento, destinado à acomodação de veículos em caso de paradas de emergência.

alinhamento — projeção sobre um plano horizontal ou vertical do eixo de uma rodovia.

ambiente rural, área rural — áreas adjacentes ao eixo rodoviário, ocupadas por atividades agrícolas ou ambientes naturais, com baixa densidade populacional.

ambiente urbano, área urbana — áreas adjacentes ao eixo rodoviário, caracterizadas por densidades populacionais consideráveis e usos de natureza urbana, como usos residenciais, comerciais, industriais e de serviços.

análise de regressão — método estatístico utilizado para quantificar e inferir a relação de uma variável dependente (variável de resposta) com uma ou mais variáveis independentes (variáveis explicativas). Permite determinar quais variáveis independentes são mais importantes para um tema de interesse, quais podem ser ignoradas e como elas influenciam a variável dependente. A análise de regressão pode ser utilizada com o objetivo de desenvolver uma função para estimar o valor futuro de uma variável dependente a partir das variáveis independentes.

barreira de proteção — ver ***dispositivo de contenção longitudinal***

canalização de tráfego — separação e ordenação de movimentos de tráfego, orientando trajetórias definidas por meio de elementos físicos (como ilhas ou canteiros separadores) ou sinalização horizontal (como transições ou *tapers*).

canteiro central — espaço compreendido entre os bordos internos de pistas de tráfego de sentidos opostos de circulação. Sua função é a segregação física e operacional e, por definição, inclui acostamentos internos, faixas de segurança ou faixas de espera e conversão à esquerda.

capacidade viária — taxa de fluxo máxima de veículos que podem cruzar uma seção de uma via ou faixa de tráfego em um intervalo de tempo (geralmente uma hora), nas condições predominantes de geometria, clima, visibilidade etc. O conceito de capacidade também pode ser aplicado a uma infraestrutura de circulação para pedestres e/ou ciclistas.

codificação — organização de informações em símbolos, cores e formas predeterminadas para transmitir a mensagem desejada e facilitar a detecção, legibilidade e compreensão da sinalização.

conflitos de tráfego — situação que envolve dois ou mais usuários da via trafegando em movimentos conflitantes e que exige a execução de uma manobra evasiva (mudar

de velocidade ou direção) por parte de um dos envolvidos (ou mesmo de ambos) para evitar a ocorrência de um acidente.

consistência (do projeto, da via) — conceito relacionado à busca pela adoção de um mesmo padrão em elementos geométricos sucessivos em uma via, evitando a ocorrência de singularidades. Tem como objetivo atender às expectativas dos motoristas, contribuindo para que a tarefa de dirigir possa ser realizada de forma harmoniosa e sem manobras súbitas.

composição do tráfego — participação das distintas categorias de veículos que trafegam em determinada via ou segmento de via, em geral medida por volume de tráfego e/ou porcentagem de participação em relação ao volume total.

contramedida — intervenção destinada a reduzir ou eliminar o risco de ocorrência de acidentes ou lesões graves em um local, segmento ou ao longo de toda a rodovia.

declividade transversal — inclinação do terreno na direção perpendicular ao eixo da diretriz ou a inclinação do pavimento na direção perpendicular ao eixo da plataforma.

desvio padrão — termo estatístico que se refere à medida do nível de dispersão em torno da média populacional de uma variável aleatória.

diagnóstico — etapa do processo de Gerenciamento da Segurança Viária que busca caracterizar precisamente o problema de segurança identificado, de forma que medidas específicas possam ser adotadas para diminuir a ocorrência e/ou a severidade dos acidentes.

dispositivos amortecedores de impacto — tipo de dispositivo de contenção pontual autoportante com capacidade de absorver energia a uma taxa controlada, parando o veículo impactante em distância relativamente curta e reduzindo o potencial de ferimentos severos nos ocupantes.

dispositivos colapsíveis — tipo de suporte de sinalização vertical ou luminária, projetado para ceder, fraturar ou separar quando impactado por um veículo. O mecanismo de rompimento pode ser por base deslizante, elemento de fratura, dobradiças, ou uma combinação destes, rompendo o suporte de uma maneira previsível quando impactado.

dispositivos de contenção — equipamentos instalados nas laterais da via com o objetivo de conter e redirecionar os veículos desgovernados, impedindo que estes invadam zonas perigosas ou alcancem um obstáculo fixo, protegendo, desta forma, os usuários da via e reduzindo as consequências e a gravidade do acidente.

dispositivos de contenção longitudinal — equipamentos instalados longitudinalmente ao longo da lateral da via ou como separadores em canteiro central ou nas bordas de pontes e viadutos, com o objetivo de conter e redirecionar os veículos desgovernados que saiam da faixa de rodagem.

dispositivos de contenção pontual — equipamentos instalados em pontos específicos da rodovia (amortecedor de impacto) ou nas extremidades de dispositivos de contenção longitudinal (terminal absorvedor de impacto), com o objetivo de conter e absorver energia de impacto dos veículos desgovernados.

dispositivos de controle de tráfego — utilizados para orientar e controlar os movimentos de veículos, pedestres e ciclistas em interseções. Incluem também dispositivos de canalização, balizamento, cadência de sinalização horizontal de separação de faixas de tráfego, sinalização vertical e controle semafórico.

distância de visibilidade — comprimento da rodovia, em extensão contínua, que é visível pelo usuário.

distância de visibilidade de parada (DVP) — distância mínima de visibilidade necessária para permitir ao motorista de um veículo que viaja na velocidade de projeto detectar uma situação de perigo à sua frente e frear seu veículo antes de atingir um obstáculo em sua trajetória.

distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU) — distância mínima de visibilidade que deve estar disponível para a ultrapassagem em rodovias de pista simples com dois sentidos de tráfego, de tal modo que um veículo possa ultrapassar um outro mais lento com segurança e conforto.

distância de visibilidade de (tomada de) decisão (DVD) — extensão requerida pelos motoristas para que, em locais da via que possam ser visualmente confusos, eles sejam capazes de: (i) detectar e reconhecer informações ou situações de perigo inesperadas e de difícil compreensão; (ii) decidir e iniciar a ação apropriada a ser tomada,

selecionando trajetória e velocidade adequadas para o caso; (iii) iniciar e concluir a manobra necessária de maneira segura e eficiente.

estimativa de acidentes — frequência de acidentes prevista em uma via, que pode ser determinada por meio de diferentes métodos, como o método preditivo, por exemplo.

faixa adicional — faixa auxiliar pavimentada, adicionada em uma rodovia de pista simples ou pista dupla, destinada à circulação a veículos mais lentos, com o objetivo de melhorar as condições de segurança e as oportunidades de ultrapassagem e aumentar a capacidade viária. Normalmente, é empregada em situações de topografia desfavorável, com aclives ou declives acentuados (rampas críticas), e/ou trechos sinuosos, com poucas oportunidades de ultrapassagem.

faixa de aceleração — faixa auxiliar, nas zonas de entroncamento ou acessos, dotada de comprimento suficiente para permitir que os veículos adquiram a velocidade conveniente para se incorporarem na corrente de tráfego principal.

faixa de desaceleração — faixa auxiliar destinada à redução de velocidade dos veículos que desejam deixar a corrente de tráfego principal.

faixa de pedestre — zona de uma via, devidamente sinalizada, destinada à passagem de pedestres, e cuja prioridade de passagem dos mesmos, em relação aos veículos, está regulamentada.

faixa de tráfego — parte de pista de rolamento cuja largura permite, com segurança, a circulação de veículos em fila única.

fatores contribuintes — elementos de risco presentes na rodovia que, de fato, influenciaram na ocorrência de um acidente, sendo identificados após o evento. Os fatores contribuintes estão associados ao ser humano, às características da rodovia, dos veículos e do ambiente viário.

fatores de risco — elementos de risco que podem contribuir para o aumento da probabilidade da ocorrência dos acidentes, para o aumento da severidade e das consequências destes acidentes. Os fatores de risco estão associados ao ser humano, às características da rodovia, dos veículos e do ambiente viário.

fluxo de caixa — termo utilizado na avaliação econômica para referir-se ao fluxo das receitas e despesas dos recursos monetários de um empreendimento, em determinado intervalo de tempo.

fluxo livre — condição de tráfego em uma via, na qual os motoristas podem viajar na velocidade desejada, não havendo restrição pela presença de outros veículos ou por dispositivos de controle de tráfego.

frequência de acidentes — número total de acidentes ocorridos em um local, um segmento ou ao longo de toda a rodovia em determinado período.

Gerenciamento da Segurança Viária — processo quantitativo e sistemático para analisar acidentes de trânsito e características do sistema viário e dos usuários das vias. Inclui a identificação e análise de locais de risco, determinação de possíveis intervenções de segurança, implementação de melhorias e a avaliação das melhorias implantadas.

greide — conformação longitudinal do perfil da rodovia, constituído por uma sucessão de aclives e declives, concordados por curvas verticais.

índice de acidentes — corresponde ao número de acidentes ponderado pela frota, população ou por unidade de exposição.

interseção — área de confluência, entroncamento ou cruzamento de duas ou mais vias, onde se localizam dispositivos destinados à organização dos movimentos conflitantes. Inclui a pista de rolamento, o acostamento e as estruturas para circulação de pedestres e ciclistas dentro da área.

legibilidade — conceito relacionado à fácil leitura e entendimento do projeto geométrico de uma rodovia pelo motorista que trafega por ela, especialmente com relação à compreensão de dispositivos de acesso e entroncamentos.

medidas moderadoras de tráfego (traffic calming) — medidas usadas para provocar a redução na velocidade e induzir o comportamento seguro dos condutores dos veículos, além de prevenir ou restringir movimentos do tráfego. São medidas que buscam tornar o ambiente mais seguro para a circulação dos diferentes usuários na rodovia.

método Empírico de Bayes (EB) — método usado para estimar um valor próximo ao real para a frequência de acidentes esperada, por meio da combinação da frequência de acidentes observada em um determinado local com a frequência de acidentes prevista (com modelos de previsão de acidentes) de vários locais semelhantes.

método preditivo — modelo estatístico desenvolvido pelo HSM para estimar a frequência esperada de acidentes em um local, segmento de rodovia ou rede viária, sob determinadas condições geométricas, volumes de tráfego e período.

movimento — trajetória descrita pelo deslocamento veicular, de bicicletas ou de pedestres em relação a determinado sentido de tráfego. Pode ser classificado em: convergente, divergente, de entrelaçamento ou de cruzamento.

nível de serviço — indicador do desempenho de operação de rodovias classificado em seis níveis (A a F): a Classe A indica as melhores condições do tráfego e a Classe F indica situações de congestionamento. Os critérios estabelecidos refletem no nível de fluidez do tráfego, possibilidade de realizar manobras ou mudança de faixa e a densidade de veículos em um determinado segmento de via.

orientação positiva — conceito relacionado a informar positivamente o condutor, fornecendo informações de orientação e de regulamentação que orientam o comportamento apropriado e seguro. As informações devem ser expostas de maneira clara, sem ambiguidade e com antecedência suficiente para que os motoristas possam agir de forma eficiente e segura.

parâmetro de dispersão — parâmetro estatístico que, em modelos de estimativa das frequências de acidentes, indica quão dispersas em torno da média são as contagens de acidentes.

probabilidade — termo matemático utilizado para representar a chance de ocorrência de um determinado evento e/ou sequência de eventos.

projeto geométrico — estudo e definição das características geométricas de uma rodovia.

relação benefício-custo — indicador econômico utilizado para comparar os benefícios esperados e os custos de um projeto de contramedida de Segurança Viária.

Geralmente é expresso em reais gastos por redução da frequência ou severidade dos acidentes.

rede viária, sistema viário — conjunto de vias em uma determinada região, geralmente organizadas hierarquicamente.

refúgios — ilhas constituídas por elementos físicos elevados em relação ao nível do pavimento ou por sinalização horizontal na via com o objetivo de fornecer um local seguro para que pedestres realizem a travessia de uma via em etapas, melhorando as condições de segurança e a intervisibilidade entre veículos e pedestres.

rodovia — via rural pavimentada.

rotatória — dispositivo de interseção no qual desembocam várias vias e o trânsito circula ao redor de uma área central em sentido único e com prioridade de circulação.

seção transversal — perfil do terreno e da plataforma em direção normal ao eixo de uma rodovia.

segmento de rodovia, segmento viário — trecho de uma via em que são efetuados estudos e avaliações.

segmento homogêneo de rodovia — trecho de uma via, definido por dois pontos, que apresenta características físicas, operacionais e de tráfego semelhantes e constantes ao longo do segmento.

Segurança Viária — ausência de acidentes e lesões no trânsito, decorrente dos atributos intrínsecos do sistema viário e do comportamento dos seus usuários. Pode ser relacionada ao conjunto de normas, análises e ações responsáveis por prevenir e reduzir o risco e a severidade de acidentes, garantindo a circulação segura de pessoas e veículos.

sentido de tráfego — sentido de circulação de tráfego, regulamentado pela autoridade de trânsito.

semáforo — dispositivo constituído por sinais luminosos que alternam o direito de passagem entre os movimentos de veículos e entre veículos e pedestres.

severidade de acidentes — nível de lesão aos ocupantes dos veículos ou usuários da via ou ainda dano à propriedade decorrente de um acidente de trânsito, em um determinado local, segmento ou ao longo de toda a rodovia.

Sistema Seguro — abordagem da Segurança Viária que considera que os seres humanos cometem erros ao utilizar o sistema de transportes e são vulneráveis a lesões em caso de acidentes. Portanto, o sistema viário deve ser projetado para que as consequências das falhas humanas sejam minimizadas. A responsabilidade é compartilhada entre projetistas, gestores, operadores, autoridades governamentais e usuários.

superelevação — inclinação transversal da pista nas curvas horizontais para compensar o efeito da força centrífuga sobre os veículos.

superlargura — acréscimo na largura da pista, ao longo das curvas horizontais, para proporcionar acomodação e segurança aos veículos que nelas transitam.

taxa de desconto, taxa mínima de atratividade — taxa escolhida para refletir o valor de um montante de dinheiro no tempo, que considera a remuneração do capital próprio e do financiamento.

taxa de juros — taxa cobrada por terceiros que remunera um investimento, sendo parte do cálculo de uma taxa de desconto.

tempo de percepção-resposta (TPR, em inglês, perception-response time – PRT) — tempo necessário para que o condutor consiga reagir a uma dada situação, contado desde o início de um estímulo até o início da resposta, permitindo que o condutor seja capaz de: detectar um alvo ou uma situação de risco, processar a informação recebida, decidir sobre como agir e iniciar uma resposta (não inclui o tempo de execução da resposta à informação).

tempo de viagem — tempo transcorrido no deslocamento de um veículo ou pedestre entre dois pontos (origem e destino), incluindo paradas eventuais.

terminal absorvedor de energia — tipo de dispositivo de contenção pontual acoplado a um sistema de contenção longitudinal que, ao ser implantado frontalmente, absorve a energia cinética do veículo impactante, conduzindo-o a uma parada segura.

terreno traspassável — terreno livre de descontinuidades significativas (ondulações ou depressões excessivas) e de objetos fixos protuberantes, de modo que veículos possam atravessar em segurança, sem paradas abruptas e sem a tendência de se desestabilizar, vindo a tombar ou capotar.

tipo de via — classificação do sistema viário em diferentes tipos de acordo com a sua função (por exemplo, rodovias, estradas e vias urbanas).

tipo de vítima — classificação das vítimas de um acidente em: vítima com ferimentos de natureza leve, vítima com ferimentos de natureza grave ou vítima fatal. As vítimas de um acidente podem ser motoristas, passageiros, pedestres, ciclistas e motociclistas.

tráfego motorizado — tráfego de veículos motorizados como motocicletas, automóveis, caminhões e ônibus.

tráfego, trânsito — movimentação e imobilização de veículos, pessoas e animais nas vias terrestres.

transporte coletivo — sistema de transporte que conduz uma grande quantidade de passageiros em conjunto, podendo ser ônibus, trem ou metrô.

triângulo de visibilidade — distância de visibilidade adequada para que os usuários que se aproximam de um cruzamento ou estejam aguardando para realizar um movimento possam se enxergar mutuamente, a tempo de evitar acidentes e, também, para incorporar-se à corrente principal com segurança.

unidades de carro de passeio (UCP) — fator de equivalência veicular utilizado para converter as condições operacionais de caminhões, ônibus, motocicletas e outros veículos em termos do veículo padrão (carro de passeio).

uso e ocupação do solo — forma de ocupação e utilização do solo adjacente à rodovia, que pode ser de uso industrial, comercial, residencial, serviço etc., e que influencia as condições do tráfego rodoviário, a caracterização dos acessos e os tipos de usuários da via.

usuário vulnerável — usuários da via que, quando se envolvem em acidentes com outros usuários, são mais suscetíveis a sofrer lesões ou fatalidades. Classificam-se,

em ordem de vulnerabilidade: pedestres, ciclistas e motociclistas. Além disso, grupos de pedestres podem ser ainda mais vulneráveis em relação à população geral, de acordo com idade, gênero e limitações físicas, intelectuais, visuais ou auditivas que dificultam a sua mobilidade (pessoas com deficiência — PcD).

usuário da via, usuário — qualquer pessoa que se desloca em uma via aberta à circulação, independentemente do veículo utilizado. Classificam-se em pedestres, ciclistas, motoristas ou passageiros.

usuário motorizado — usuários da via que circulam em um veículo de rodas com propulsão a motor. Termo utilizado para referir-se aos condutores e passageiros de motocicletas, automóveis, caminhões, ônibus e outros veículos movidos a combustão interna, eletricidade ou híbridos.

valor presente (VP) — em termos econômicos, representa o quanto um montante em dinheiro, aplicação ou ativo financeiro vale no momento atual, permitindo comparar valores em uma mesma data (normalmente, a data 0), levando em consideração a taxa de juros e a taxa de desconto definidas.

veículo errante — veículo que, por razões diversas e inesperadas, perde o controle e é conduzido de forma instável e incompatível com a operação do tráfego, podendo atingir outros veículos, pedestres ou obstáculos ao longo da rodovia ou no seu entorno.

veículo leve — veículo com peso bruto de até 3.500 quilos (3,5 toneladas). Classifica-se em: ciclomotor, motoneta, motocicleta, triciclo, quadriciclo, automóvel, utilitário, caminhonete e camioneta.

veículo pesado — veículo com peso bruto superior a 3.500 quilos. Classifica-se em: ônibus, micro-ônibus, caminhão, caminhão-trator, trator de rodas, trator misto, chassi-plataforma, motor-casa, reboque ou semirreboque e suas combinações.

veículo de projeto — veículo com peso, dimensões e características operacionais definidas, considerado representativo de determinado grupo da frota circulante, selecionado com vistas a estabelecer parâmetros de controle de projeto para a via.

velocidade — relação entre a distância que um veículo ou pedestre percorre por unidade de tempo; expressa normalmente em quilômetros por hora (km/h).

velocidade diretriz, velocidade de projeto — velocidade selecionada e utilizada para estabelecer determinados parâmetros e características geométricas de uma via. O valor adotado deve ser coerente com o relevo predominante do terreno, com o uso e a ocupação do solo no entorno da via, com a velocidade operacional estimada ao longo da via e com sua classe funcional.

velocidade operacional, velocidade de operação — velocidade na qual os condutores operam seus veículos sob condições de fluxo livre, e que corresponde ao 85º percentil da distribuição de velocidades praticadas, obtido através da curva de frequências acumuladas.

velocidade regulamentada — velocidade de tráfego máxima permitida em uma via. Definida pela autoridade de trânsito, a partir da classe da rodovia, dos parâmetros geométricos, da composição do tráfego, dos tipos e da combinação de usuários presentes e das condições operacionais.

via principal — classificação de uma via em relação a interseções e rede viária para referir-se àquela que tem função superior à outra (via secundária) e que, portanto, não precisa ceder a preferência de passagem.

via rural — vias localizadas em áreas rurais que se distinguem por serem pavimentadas (rodovias) ou não pavimentadas (estradas).

via secundária — classificação de uma via em relação a interseções e rede viária para referir-se à via cuja função é subordinada em relação à via principal.

volume de tráfego — número de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia ou faixa de tráfego durante um período, geralmente expresso em horas (veículos/hora) ou dias (veículos/dia). Diferencia-se de fluxo de tráfego por não considerar os efeitos dos diferentes tipos de veículos nas condições operacionais da via.

volume diário médio (VDM) — número médio de veículos que percorre uma seção da via, por dia, durante um período, geralmente expresso em veículos/dia. Quando não especificado o período considerado, pressupõe-se que se trata de um ano. Para períodos inferiores a um ano, deve-se utilizar procedimentos estatísticos para levar em consideração a sazonalidade dos dados, e o viés que essa sazonalidade pode implicar nos cálculos que dependem do VDM.

volume horário de projeto (VHP) — é volume horário de tráfego previsto para o horizonte de projeto, usualmente 10 ou 20 anos. Normalmente o VHP é adotado considerando-se uma hora específica, como a 30ª hora de maior volume, no caso de interseções, ou 50ª hora de maior volume, para os casos de dimensionamento de faixas de tráfego.

zona livre lateral, zona de segurança — área sem obstruções e objetos fixos, adjacente às seções da rodovia, com largura adequada e solo relativamente plano e nivelado. Compõe o acostamento da rodovia e seu entorno e permite que veículos errantes sejam capazes de parar ou voltar à pista com segurança.

