

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

Curso de Engenharia Civil

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DOS FATORES VIÁRIOS E
SINISTROS NAS RODOVIAS BRASILEIRAS - ESTUDO DE
CASO NA RODOVIA SP-088 ENTRE OS KM 57,400 E 70,000.**

São Paulo

2023

BRUNA VANESSA SANTOS SILVA
VICTORIA REGIA APARECIDA DOS SANTOS FERREIRA

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DOS FATORES VIÁRIOS E
SINISTROS NAS RODOVIAS BRASILEIRAS – ESTUDO DE
CASO NA RODOVIA SP-088 ENTRE OS KM 57,400 E 70,000.**

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como requisito parcial a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Xavier Sevegnani.

São Paulo

2023

BRUNA VANESSA SANTOS SILVA
VICTORIA REGIA APARECIDA DOS SANTOS FERREIRA

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DOS FATORES VIÁRIOS E
SINISTROS NAS RODOVIAS BRASILEIRAS – ESTUDO DE
CASO NA RODOVIA SP-088 ENTRE OS KM 57,400 E 70,000.**

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como requisito parcial a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Xavier Sevegnani - PUC-SP

Profa. Dra. Karen Niccoli Ramirez - PUC-SP

Prof. Dra. Roberta Vieira Raggi – PUC-SP

São Paulo, 29 de novembro de 2023.

DEDICATÓRIA

Dedicamos o resultado, de todo o empenho deste processo de estudos acadêmicos aos nossos familiares, principalmente nossas mães, parceira tanto nas ideias quanto na discussão das concepções de escrita e leitura das literaturas que embasaram esse trabalho. Dedicamos, também, a Deus, que sempre foi o autor da vida, escritor do destino, o maior apoio nos momentos difíceis. Dedicamos aos colaboradores diretos e indiretos em especial ao nosso orientador professor Dr. Francisco Xavier Sevegnani, à professora Dra. Roberta Vieira Raggi, e a alguns amigos que foram bons ouvintes nos períodos de dúvidas e angústias.

AGRADECIMENTOS

Agradecer. Verbo bitransitivo, do latim Gratus que significa agradecido a algo ou alguém. Agradecido estou, a todos que me acompanharam nesta jornada.

Agradecido aos momentos de estudo, debruçado diante de um desafio, que aqui nestas linhas, textos e traços creio que dei corpo, forma e formatação a um desafio, a um problema que visava análises pontuais e consequentemente uma utilização, função, pois afinal é sempre para o outro, para culminar em prol de outros, que voltamos nosso olhar e dedicação.

Agradecido aos familiares que ao meu lado observaram minhas angústias, minhas ideias, o trabalho sendo construído, e me ampararam com mãos carinhosas e amigas em todos os momentos.

Agradecido ao orientador professor Dr. Francisco Xavier Sevegnani, pela paciência, pelas orientações objetivas e pontuais, cuja importância foi para elevar este trabalho a uma possível e futura utilização na prática, e pela confiança em minha capacidade de realizá-lo.

Agradecido à professora Dra. Roberta Vieira Raggi pelas ideias e por nos mostrar os caminhos que as rodovias podem nos levar na engenharia.

Agradecido à professora Dra. Karen Niccoli Ramirez pelos comentários precisos e pelas sugestões desde a primeira etapa neste trabalho que possibilitaram este direcionamento e por aceitar fazer parte de nossa banca de defesa.

Agradecido ao professor Ms. Matheus Lorena Gonçalves Marquesi por participar na primeira etapa e trazer contribuições importantes para este trabalho.

Agradecido a Deus que em todo tempo me fortaleceu, mesmo quando achei que por um momento não seria capaz de contextualizar e ver a possibilidade de o trabalho ter seu andamento significativo para um término mais consistente no futuro.

Um imenso e sincero obrigado.

RESUMO

Os acidentes de trânsito, uma das principais causas de mortes globalmente, destacam o Brasil como o oitavo país com maior incidência de mortes e sequelas graves. Uma das opções do ponto de vista de segurança viária são as “Rodovias que perdoam”, de forma a prevenir a ocorrência de acidentes e minimizar suas gravidades através abordagem sistêmica de revisão da geometria da via e de seus componentes para a melhoria da segurança no trânsito. Desta forma, através de um estudo de caso na Rodovia Estadual SP-088, vicinal em São Paulo, trechos 57,400 a 70,000, verificou-se a influência da geometria viária nos acidentes, utilizando métodos analíticos do ponto de vista da engenharia de estradas e dados de ocorrências de trânsito disponibilizados pelo INFOSIGA SP. Foram verificadas irregularidades geométricas, como raios mínimos e falta de acostamentos (km 58,000 a 63,000), que contrariam normativas. Em contraponto, os índices de segurança indicam alta incidência de sinistros, destacando colisões e choques, demonstrando que o fator viário influi diretamente no componente de segurança viária. A falta de acostamento e superlargura, juntamente com ausência de outros dispositivos, são apontadas como principais fontes de insegurança, destacando a necessidade de cuidadosa implementação considerando a natureza vicinal da rodovia.

Palavras-chave: Sinistros de Trânsito; Acidentes de Trânsito; Rodovias que Perdoam

ABSTRACT

Traffic accidents, a leading global cause of fatalities, position Brazil as the eighth country with the highest incidence of deaths and severe injuries. One safety-oriented approach is the concept of "Forgiving Highways," aimed at preventing accidents and minimizing their severity through a systemic review of road geometry and its components to enhance traffic safety. Through a case study on the State Highway SP-088, a local road in São Paulo, sections 57,400 to 70,000, we assessed the influence of road geometry on accidents, utilizing analytical methods from the perspective of road engineering and traffic incident data provided by INFOSIGA SP. Geometric irregularities such as inadequate minimum radii and lack of shoulders (km 58,000 to 63,000) were identified, violating regulations. Conversely, safety indices indicated a high incidence of incidents, particularly collisions and impacts, highlighting the direct impact of road factors on traffic safety. The absence of shoulders and excessive width, coupled with the lack of other safety devices, were identified as major sources of insecurity, emphasizing the need for careful implementation considering the local nature of the highway.

Keywords: Traffic Incidents; Traffic Accidents; Forgiving Highways.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metodologia da Pesquisa – Revisão Bibliográfica.....	24
Figura 2 – Elementos Geométricos de uma Estrada.....	46
Figura 3 – Elementos Geométricos Axiais.....	47
Figura 4 – Elementos Geométricos Curvas Circular Simples e Curva Composta com Transição.....	47
Figura 5 – Curva composta e Curva Reversa	48
Figura 6 – Curva horizontal circular simples.....	49
Figura 7 – Curva composta com 2 centros.....	49
Figura 8 – Curva horizontal com espirais de transição simétrica	50
Figura 9 – Perfil Longitudinal.....	51
Figura 10 – Perfil de uma estrada	52
Figura 11 – Parábolas de 2º grau: (a) simples, (b) composta	53
Figura 12 – Dimensões do veículo de projeto CO (cm).....	56
Figura 13 – Distância de Visibilidade de Parada.....	57
Figura 14 – Superelevação	58
Figura 15 – Elementos intervenientes no cálculo da superlargura.....	60
Figura 16 – Superlargura por alargamento simétrico da pista.....	61
Figura 17 – Superlargura por alargamento assimétrico da pista	62
Figura 18 – Década de Ação para a Segurança Viária: Pilares de Atuação	63
Figura 19 – Componente dos sinistros viários e suas interações.....	66
Figura 20 – Fatores de risco e/ou contribuintes para os sinistros	67
Figura 21 - Exemplo de Zona de Escape	69
Figura 22 - Exemplo de Defesa Metálica Lateral.....	70
Figura 23 – Exemplo de Barreira New Jersey	70
Figura 24 – Exemplo de Dispositivo Atenuador de Impacto.....	71
Figura 25 – Exemplo de Barreira com Baldes com Areia.....	71
Figura 26 – Exemplo de terminal absorvedor de energia (TAE).....	72
Figura 27 – Exemplo de sonorizadores.....	73
Figura 28 – Exemplo de Faixas de Alerta	73
Figura 29 – Mapa das Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo	76
Figura 30 – Mapa de Localização da Rodovia SP-088	76
Figura 31 – Imagem via Satélite da Rodovia SP-088 entre os km 57,400 até 63,000	78
Figura 32 – Imagem via Google Street View da Rodovia SP-088 – km 57,400 até 63,000	79

Figura 33 – Imagem via Satélite da Rodovia SP-088 entre os km 63,000 até 70,000
79

Figura 34 – Imagem via Google Street View da Rodovia SP-088 – km 63,000 até
70,000 80

Figura 35 – Imagem via Satélite - AutoCAD Civil 3D – alinhamento do trecho 1 81

Figura 36 – Imagem via Satélite - AutoCAD Civil 3D – alinhamento do trecho 2 82

Figura 37 – Imagem via Satélite - AutoCAD Civil 3D – inconformidades no
alinhamento do trecho 1 83

Figura 38 – Imagem via Satélite da Rodovia SP-088 – curva com inconformidades 86

Figura 39 – Imagem via Google Street View da Rodovia SP-088 – Pista sem
acostamento 87

Figura 40 – Imagem via Satélite da Rodovia SP-088 - Rio Tietê próximo à rodovia.87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Malha Rodoviária Federal – Anuário CNT 2021	16
Gráfico 2 – Índice de Óbitos por 100 mil habitantes nos países de maior PIB (2019) 18	
Gráfico 3 – Acidentes por ano em 2007 a 2022 pela CNT	19
Gráfico 4 – Acidentes por tipo (com vítimas e sem vítimas) - 2007 a 2022.....	20
Gráfico 5 – Óbitos por ano - 2007 a 2022	20
Gráfico 6 – Evolução do Perfil das Vítimas Fatais de Acidentes de Trânsito no Brasil 21	
Gráfico 7 – Evolução Total da Frota de Veículos na Década 2000-2010.....	28
Gráfico 8 – Evolução Total da Frota de Veículos na Década de 2020-2022.....	28
Gráfico 9 – Acidentes por gravidade ocorridos nas rodovias policiadas no Brasil entre 1952 e 2022 – intervalos de 10 anos	29
Gráfico 10 – Porcentagem das curvas do trecho 1 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = V=100km/h	83
Gráfico 11 – Porcentagem das curvas do trecho 2 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = V=100km/h	83
Gráfico 12 – Porcentagem das curvas do trecho 1 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = V=80km/h	84
Gráfico 13 – Porcentagem das curvas do trecho 2 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = V=80km/h	85
Gráfico 14 – Porcentagem das curvas do trecho 1 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = V=60km/h	85
Gráfico 15 – Porcentagem das curvas do trecho 2 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = V=60km/h	85
Gráfico 16 – Causa de Sinistros em que há óbitos na Rodovia SP 088 entre os km 57,400 a 70,000 de 2019 até 2022.....	92
Gráfico 17 – Causa de Sinistros quando não há sinistros fatais na Rodovia SP 088 entre os km 57,400 a 70,000 de 2019 até 2022	92
Gráfico 18 – Tipos de Veículos Envolvidos em Sinistros na Rodovia SP 088 entre os km 57,400 a 70,000 de 2019 até 2022.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Causas presumíveis dos acidentes - PRF.....	34
Quadro 2 – Estudos necessários para elaboração de um projeto viário	44
Quadro 3 – Relação de tipos de acidentes e elementos de “Rodovias que Perdoam”	68

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Fórmula da Raio de Uma Curva.....	58
Equação 2 – Fórmula da Superlargura	60
Equação 3 – Índices de Segurança Viária	64
Equação 4 – Equação de Exposição.....	64
Equação 5 - Índice Ponderado de Acidentes (IP).....	65
Equação 6 - Índice Crítico (IC)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo médio de acidentes (em R\$, em dez/2020).....	21
Tabela 2 – Metodologia da Pesquisa Científica	24
Tabela 3 – Acidentes por gravidade ocorridos nas rodovias policiadas no Brasil entre 1952 e 2022 – intervalos de 10 anos	29
Tabela 4 – Fatores Geradores de Sinistro	31
Tabela 5 – Fatores Contribuintes para Geração de Ocorrências	31
Tabela 6 – Matriz de Haddon	32
Tabela 7 – Tipos de Sinistro de Trânsito.....	33
Tabela 8 – Classes de projeto e critérios de classificação técnica.....	39
Tabela 9 – Relação geral entre as classes funcionais e as classes de projeto	40
Tabela 10 – Largura das faixas de rolamento em tangentes (em metros)	42
Tabela 11 – Largura dos acostamentos externos (em metros)	43
Tabela 12 – Largura dos acostamentos internos (em metros*) - pistas de mão única - Classe 0 ou I-A.....	43
Tabela 13 – Velocidade diretrizes para novos traçados em função da classe de projeto e do relevo.....	54
Tabela 14 – Principais dimensões básicas dos veículos de Projeto (em metros)	55
Tabela 15 – Valores dos Raios Mínimos em Função das Taxas Máximas de Superelevação em metros (m)	59
Tabela 16 – Valores dos Raios acima dos quais a superelevação é dispensável.....	59
Valores dos Raios acima dos quais a superlargura é dispensável.....	61

Tabela 18 – Volume Diário Médio (VDM) Por Trecho da Rodovia SP 088	77
Tabela 19 – Características básicas do projeto geométrico - Rodovias Classe I.....	81
Tabela 20 – Volume Diário Médio (VDM) da Rodovia SP 088 entre o KM 57,400 a 70,000. 88	
Tabela 21 – Registro de Sinistros Por Trecho da Rodovia SP 088 entre o KM 57,400 a 70,000.	89

LISTA DE SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
ARTESP – Agência de Transporte do Estado de São Paulo
BAT – Boletim de Acidentes de Trânsito
CET - Companhia de Engenharia de Tráfego
CNT - Confederação Nacional do Transporte
CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito
CTB - Código de Trânsito Brasileiro
DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito
DER/SP – Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER – atual DNIT, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
INFOSIGA - Sistema de Informações Gerenciais de Acidentes de Trânsito do Estado de São Paulo
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONSV – Observatório Nacional de Segurança Viária
ONU – Organização Mundial de Saúde
PRF – Polícia Rodoviária Federal
PIB – Produto Interno Bruto
SENATRAN – Secretaria Nacional de Trânsito
VDM – Volume Diário Médio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
2	JUSTIFICATIVA	17
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
3.2	Análise Qualitativa.....	25
3.3	Diagnósticos de locais críticos	25
3.4	AutoCad Civil 3D 2023	26
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
4.1	SINISTROS DE TRÂNSITO	27
4.1.1	Evolução dos Sinistros de Trânsito.....	27
4.1.2	Acidentes ou Sinistros de Trânsito	30
4.1.3	Uso de Tratamento de Dados de Sinistros de Trânsito	32
5	REFERENCIAL TEÓRICO	36
5.1	CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS	36
5.1.1	Classificação Funcional	36
5.1.2	Classificação quanto à jurisdição.....	37
5.1.3	Quanto às condições técnicas	37
5.1.4	Classes de Projeto.....	39
5.1.5	Níveis de serviço	40
5.1.6	Elementos de seção transversal.....	41
5.1.7	Largura das faixas de rolamento	42
6.2	PROJETO GEOMÉTRICO	44
6.2.1	Características de Projeto	45
6.3	SEGURANÇA VIÁRIA.....	62
6.3.1	Indicadores de Segurança Viária.....	63
6.3.2	Rodovias que Perdoam	66
6.3.2.1	Zona Livre	69
6.3.2.2	Dispositivo de contenção viária	70
6.3.2.3	Sonorizadores e faixas de alerta	72

6.3.2.4	Superelevação e superlargura	74
7	ESTUDO DE CASO	75
7.1	RODOVIA SP-088.....	75
7.2	CLASSIFICAÇÃO DA RODOVIA	77
7.3	ELABORAÇÃO DOS ALINHAMENTOS HORIZONTAIS	80
7.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	82
7.5	INCONFORMIDADES DA RODOVIA	86
7.6	ANÁLISE DOS ÍNDICES DE ACIDENTES DA RODOVIA SP-088 NO TRECHO 57,400 ATÉ 70,000KM	88
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95

1 INTRODUÇÃO

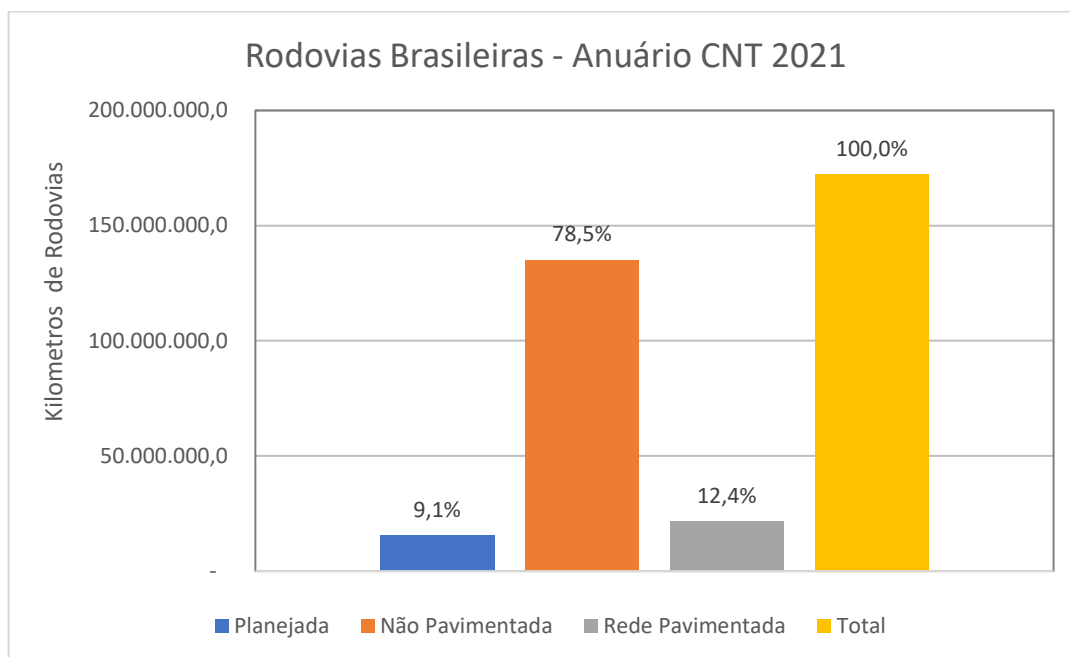
As obras de infraestrutura urbana como rodovias, ferrovias e linhas de transmissão são fundamentais para o desenvolvimento e a integração regional e são fomentados para ampliarem suas malhas em atendimento ao crescimento das atuais demandas.

No que tange a malha rodoviária brasileira, é a infraestrutura de transporte mais disponível em todas as regiões do Brasil para o transporte de cargas e deslocamento de pessoas. O Departamento Nacional de Infraestrutura (DNIT), através do Sistema Nacional de Viação (SNV), mantém atualizada regularmente a base da malha rodoviária federal, constituída pela infraestrutura viária e pela estrutura operacional dos diferentes meios de transporte de pessoas e bens, sob jurisdição da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios (DNIT, 2007).

A malha rodoviária federal pode ser dividida entre planejada, não pavimentada e pavimentada. Dentre as terminologias que dividem uma rodovia, a planejada, indica que a rodovia está “em planejamento e a construção está em perspectiva” (DNIT, 2007, p.5). A rodovia pavimentada é uma rodovia que contém revestimento superior em sua extensão; são “rodovias implantadas que apresentam sua superfície com pavimento asfáltico, de concreto cimento ou de alvenaria poliédrica” (DNIT, 2007, p.5). A rodovia não pavimentada não possui revestimento superior e são consideradas pelo órgão rodovias de leito natural, uma rodovia “construída em primeira abertura, em terreno natural, sem atendimento às normas, podendo eventualmente receber revestimento primário” (DNIT, 2007, p.5). O DNIT (2007) entende que as rodovias não pavimentadas não atendem às normas rodoviárias de projeto geométrico, não se enquadrando em nenhuma das classes de rodovias estabelecidas.

O gráfico a seguir foi obtido através dos dados divulgados no anuário de 2021 da Confederação Nacional de Transportes (CNT) e apresenta um atual panorama das rodovias federais do Brasil. Observa-se que a extensão total da malha rodoviária brasileira em 2021 era de 1.720.909,0 km, dos quais apenas 12,4% de extensão pavimentada, 9,1% de extensão planejada e 78,5% de extensão não pavimentada (CNT, 2022).

Gráfico 1 – Malha Rodoviária Federal – Anuário CNT 2021



Fonte: Elaboração nossa. Dados Anuário CNT (2022)

Neste mesmo estudo da CNT (2022), com relação a classificação das condições das rodovias federais brasileiras, as rodovias foram classificadas no período acumulado de 2007 a 2022 como regular. No entanto, ao analisar os indicadores individualmente, foi constatado que o indicador geometria foi o único a ser classificado como péssimo.

Em uma análise paralela as rodovias que compõe a malha rodoviária brasileira, a CNT (2022) que constatou que de todas que compunham, um grande volume dela já apresentava indicadores ruins: 66% das rodovias avaliadas possuíam algum tipo de problema no estado geral; 55,5% dos trechos avaliados apresentavam problemas no pavimento. 60,7% apresentavam problemas na sinalização e 64% tinham falhas na geometria (CNT, 2022).

As características de uma infraestrutura viária podem gerar circunstâncias que influenciar os condutores a cometerem erros ou então levá-lo a evitar um sinistro quando amparado corretamente por um dispositivo de segurança viário. Em seu estudo Nodari (2003), correlacionou os componentes interagindo entre si, por entender que os sinistros normalmente resultam da interação entre dois ou mais fatores.

Dentre os fatores que geram sinistros de trânsito, este trabalho se focará no fator viário, definido pela NBR 10.697/2020 da ABNT (2020) como “a característica ou deficiência na via ou sua sinalização, responsável pela ocorrência do sinistro”.

O presente trabalho buscou analisar a relação entre a geometria das rodovias e os acidentes, utilizando métodos analíticos e estatísticos para analisar dados e informações

relevantes através do estudo de caso da Rodovia Estadual SP-088. Por meio dessa análise, espera-se contribuir para o avanço do conhecimento na área de segurança das rodovias, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de medidas efetivas de prevenção de acidentes e melhorias na geometria das rodovias.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar os fatores viários que influenciam na ocorrência de sinistros na Rodovia SP-088 no trecho entre os km 57,400 a 70,000 e apontar possíveis medidas para a prevenção.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Investigar como as características geométricas das rodovias podem contribuir/inibir a ocorrência de acidentes.
- b) Identificar as principais variáveis de geometria a serem consideradas na análise, como curvas, largura das faixas, inclinações, presença de acostamentos.
- c) Apresentar dados estatísticos do trecho entre os km 57,400 a 70,000 da Rodovia Estadual SP-088 com histórico de acidentes.
- d) Aplicar uma metodologia específica para caracterizar, diagnosticar e propor soluções para cada ponto crítico do trecho entre os km 57,400 a 70,000 da Rodovia Estadual SP-088
- e) Avaliar as possíveis causas relacionados aos fatores viários dos sinistros de trânsito do trecho entre os km 57,400 a 70,000 da Rodovia Estadual SP-088.
- f) Coletar dados sobre os acidentes ocasionados entre o trecho dos km 57,400 a 70,000 da Rodovia Estadual SP-088, incluindo informações dos trechos e características dos acidentes.

2 JUSTIFICATIVA

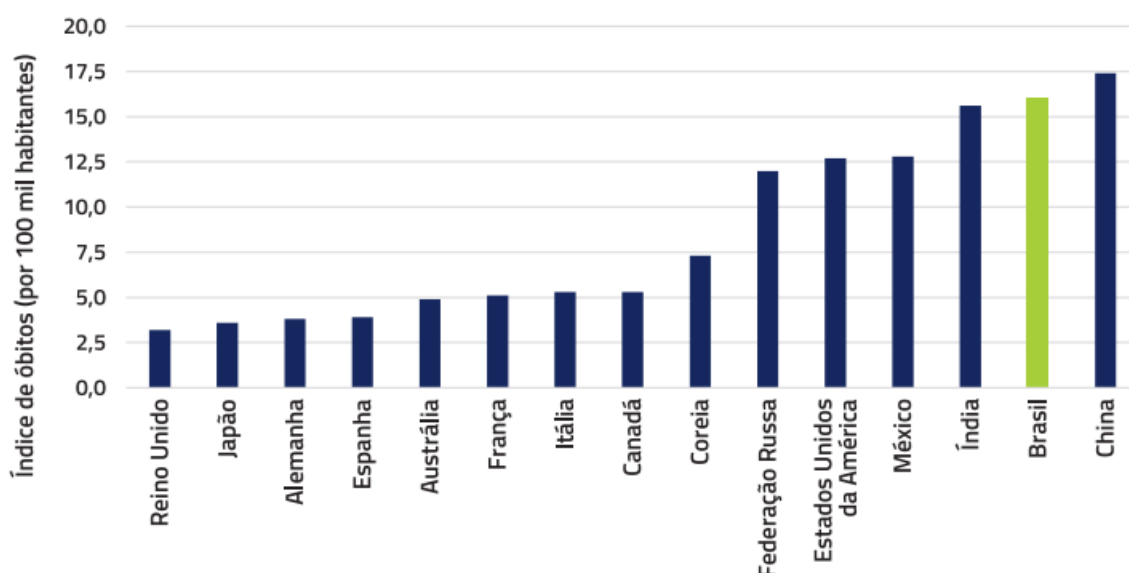
Em um compilado de estudos realizados por diversos órgãos mundiais, dentre eles a Organização Mundial da Saúde e a Organização das Nações Unidas, no início dos anos 2000,

o cenário mundial apresentava uma taxa de morte de 1,3 milhão de pessoas por ano em razão dos acidentes de trânsito (quase 3.600 mortes diárias) e aproximadamente 50 milhões acidentes com lesão com sequelas físicas, mentais e/ou psicológicas que impedem uma vida normal (FERRAZ, 2012).

No cenário Brasil, Ferraz (2012) observou que em 2010, morreram 42.225 pessoas em razão acidentes de trânsito e estima-se que houve mais de 1 milhão de acidentes e 500 mil feridos (com sequelas graves definitivas que impedem uma vida normal). Em comparação aos países desenvolvidos, em um parâmetro que observa o número de mortes x bilhão de quilômetros percorridos para medir a segurança viária, o Brasil é o campeão em número de óbitos, com o número em torno de 7 a 12 vezes maior do que os países analisados (FERRAZ, 2012).

No Manual de Segurança Viária, divulgado este ano pelo Departamento de Estradas e Rodagens de São Paulo (DER/SP) (2023), com os dados mundial em 2019 divulgados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), reforçam as estatísticas em que mantém o Brasil como um dos principais líderes no ranking em óbitos no trânsito por 100 mil habitantes em função do PIB (Produto Interno Bruto), conforme gráfico a seguir.

Gráfico 2 – Índice de Óbitos por 100 mil habitantes nos países de maior PIB (2019)

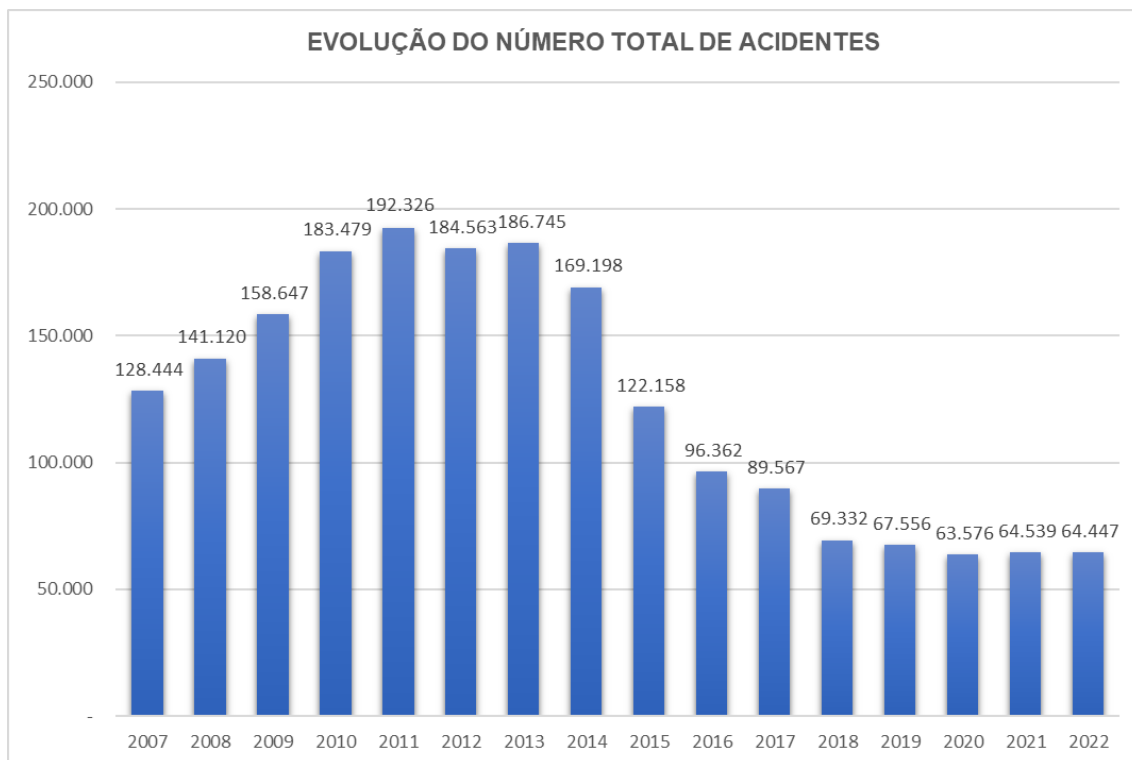


Fonte: DNIT apud OMS, 2021.

Entretanto, embora o Brasil mantenha índices de óbitos que são considerados elevados em comparação com nações de maior PBI, há uma tendência de redução nos registros de fatalidades em acidentes de trânsito desde 2012. Essa trajetória decrescente é evidenciada

nos gráficos a seguir, obtidos a partir dos dados disponibilizados no anuário da CNT, a partir de uma apuração no período acumulado de 2007 a 2022, foram registrados 1.982.059 acidentes, sendo 970.063 com vítimas e 110.188 vítimas fatais (CNT, 2022).

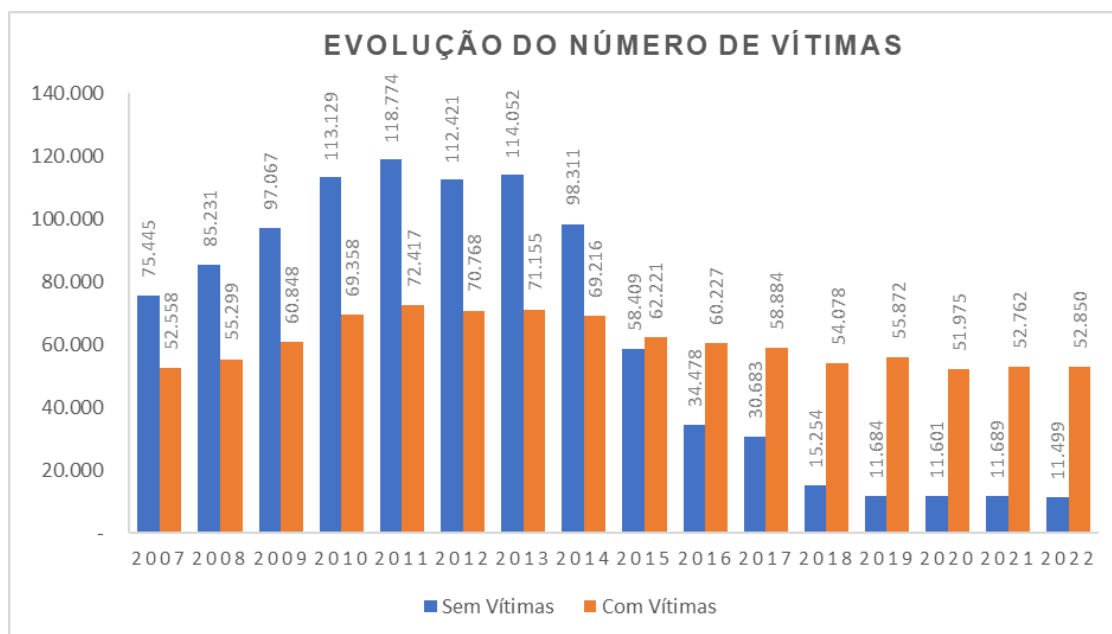
Gráfico 3 – Acidentes por ano em 2007 a 2022 pela CNT



Fonte: Confederação Nacional de Transportes – Painel de consultas dinâmicas (2022)

A partir do gráfico acima, é possível acompanhar uma tendência de redução no número de acidentes registrados no período em estudo. Os gráficos seguintes nos apresentarão a evolução desses acidentes, analisando o acidente sob a perspectiva de ocorrência ou não de vítimas e em função do número de óbitos, também obtido pela fonte do CNT. Pode-se observar em ambas as situações que apesar dessa tendência de redução de número de acidentes ser positiva, sob a óptica do número de acidentes com vítimas não apresentou redução expressiva – o mesmo acontece em função do número de óbitos.

Gráfico 4 – Acidentes por tipo (com vítimas e sem vítimas) - 2007 a 2022



Fonte: Confederação Nacional de Transportes – Painel de consultas dinâmicas (2022)

Gráfico 5 – Óbitos por ano - 2007 a 2022



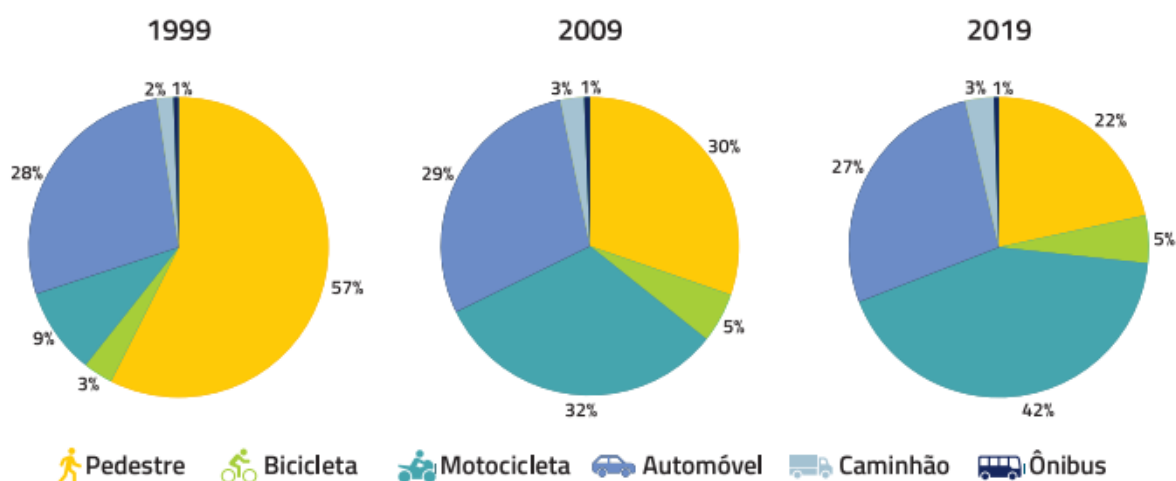
Fonte: Confederação Nacional de Transportes – Painel de consultas dinâmicas (2022)

O reflexo dos valores verificados não é por acaso. Ferraz (2012) estima que nos países menos desenvolvidos, as taxas de mortes por veículo e quilômetros são maiores que os países desenvolvidos, justificando esses índices, no âmbito econômico, a falta de cultura no trânsito, vias mal projetadas e sem conservação adequada, veículos velhos e sem manutenção, legislação inapropriada, fiscalização incipiente, larga utilização de motocicletas e veículos

semelhantes, atendimento precários as vítimas entre outros. Quanto ao âmbito social, observou-se que as principais vítimas dos acidentes se encontram nas classes econômicas mais baixas que não tem acesso ao automóvel e por isso são usuários mais vulneráveis (pedestres, ciclistas e motociclistas) (FERRAZ, 2012).

Essa análise fica evidente quando analisado o gráfico a seguir, elaborado pelo DER/SP (2023) com os dados do Datasus para o ano de 2019, onde é possível verificar que as maiores vítimas dos acidentes em rodovias são os motociclistas, seguidos dos automóveis, pedestres, ciclistas, caminhões e ônibus.

Gráfico 6 – Evolução do Perfil das Vítimas Fatais de Acidentes de Trânsito no Brasil



Fonte: DER/SP (2023) apud DATASUS (2021).

Apesar de ser impossível atribuir um valor preciso à saúde e à vida, é viável realizar uma estimativa dos impactos que danos à vida podem ocasionar na sociedade. Essa avaliação possibilita calcular os custos associados aos acidentes, oferecendo subsídios para tomadas de decisão voltadas à promoção de um ambiente rodoviário mais seguro.

Tabela 1 – Custo médio de acidentes (em R\$, em dez/2020)

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: DER/SP (2023) apud IPEA (2014) com correção pelo IPCA.

Segundo dados do DER/SP (2023), os custos dos acidentes de trânsito para os países em desenvolvimento são de aproximadamente 3% a 5% do PIB.

Portanto, investigar os fatores viários e suas interações nos acidentes de trânsito emerge como uma abordagem necessária, capaz de produzir impactos positivos nos âmbitos social, econômico e de saúde em populações quando utilizado como ferramenta na Engenharia de Trânsito. O emprego dessas análises como uma ferramenta na Engenharia de Trânsito proporciona uma compreensão mais profunda dos elementos envolvidos, mas também oferece a oportunidade de implementar medidas eficazes que promovam a segurança viária e, por conseguinte, contribuam positivamente para o bem-estar e desenvolvimento das populações envolvidas.

Diante desse contexto, optou-se por investigar um trecho específico da rodovia SP-088, compreendido entre os quilômetros 53,400 e 70,000, a fim de avaliar a conformidade do traçado geométrico deste trecho em estudo com os critérios estabelecidos pelo Manual de Projeto de Rodovias Rurais de 1999. Além disso, busca-se verificar se essa configuração influencia o índice de acidentes na região, considerando que os residentes dos municípios de Biritiba Mirim e Salesópolis enfrentam diariamente ocorrências de acidentes nessa rodovia, especialmente em uma curva próxima ao quilômetro 60. Essa análise visa contribuir para uma possível promoção da segurança viária e, conseqüentemente, para o aprimoramento do bem-estar e desenvolvimento para essas populações.

3 METODOLOGIA

Como forma de atingir os objetivos propostos para a realização deste trabalho, optou-se por uma metodologia com abordagem qualitativa e sua correlação com a cientificidade da engenharia viária.

Pela definição de Minayo (2010),

A pesquisa qualitativa se preocupa com o nível de realidade que não pode ser quantificado, ou seja, ela trabalha com o universo de significados, de motivações, aspirações, crenças, valores e atitudes. (MINAYO, 2010, p.14)

Dada as características deste trabalho, a escolha pela abordagem qualitativa, se deu por conta das características que geram os acidentes de trânsito e como os fatores viários podem influenciar como um elemento de interpretação que não pode ser quantificado na sua essência, mas sim estudado como um componente da dinâmica.

A partir disso, uma pesquisa com abordagem qualitativa, como descrita por Minayo (2010), deve possuir três etapas: a fase exploratória, que consiste no preparo necessário para entrar em campo, entendida neste trabalho como a revisão bibliográfica; a fase de trabalho de campo através do estudo de caso do trecho entre os km 57,400 a 70,000 da Rodovia Estadual SP-088 com apuração de os dados coletados através de dados de órgãos oficiais ligados ao trânsito, acidentes e fatores de riscos bem como a obtenção de dados abertos disponibilizados pelo órgão competente (DER/SP, INFOSIGA SP) entre 2019 até 2022 para a verificação de desempenho e análises de índices; e por último, análise e tratamento do material, realizado através do estudo de caso do trecho entre os km 57,400 a 70,000 da Rodovia Estadual SP-088.

Assim, para a realização deste trabalho, dividiu-se a pesquisa em etapas apresentadas de forma sucinta no quadro a seguir e descrita com maiores detalhes nos próximos subitens.

Tabela 2 – Metodologia da Pesquisa Científica

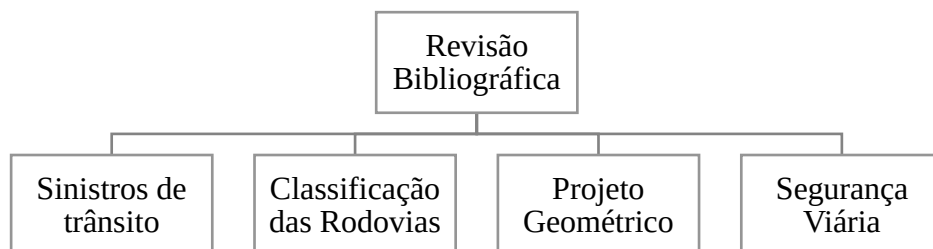
Tipologia	Metodologia Empregada
Revisão Bibliográfica	Pesquisa bibliográficas relacionadas ao tema, através de livros, teses, dissertações e artigos científicos.
Análise Qualitativa	Levantar dados cadastrais dos acidentes de trânsito disponibilizados pelo INFOSIGA SP entre 2019 até 2022.
Diagnóstico	Caracterização, análise e diagnóstico das possíveis causas dos sinistros de trânsito na Rodovia Estadual SP-088 no trecho entre os km 57,400 a 70,000.

Fonte: Elaboração própria.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma das etapas fundamentais para a realização deste trabalho científico consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema de interesse, utilizando fontes como livros, teses, dissertações e artigos científicos. Nesta etapa, procurou-se materiais que tivessem o enfoque no que é necessário entender sobre o tema e dentro deste tema subdividiu-se em três itens:

Figura 1 – Metodologia da Pesquisa – Revisão Bibliográfica



Fonte: Elaboração própria.

Como um dos subitens, buscou-se compreender o que é um sinistro de trânsito, os fatores que contribuem para gerar um sinistro e entender as possíveis hipóteses que podem

ocasionar esses sinistros, a evolução dos sinistros de trânsito e como que é feito o boletim de ocorrência desses acidentes e a forma como são tratados os dados.

Como segundo subitem, caracterizou-se as rodovias conforme os padrões do DNIT e as diferenças entre as classes e velocidades que podem ser praticadas. No terceiro subitem, o enfoque adotado foi no projeto geométrico com o intuito de entender com o projeto geométrico e os projetos complementares das vias influenciam no fator viário de trânsito, bem como a velocidade de projeto e operação, raios de curvas, superelevações, superlargura e distância de visibilidade.

O quarto e último subitem buscou-se caracterizar os principais pilares da segurança viária, o contexto de “Rodovias que Perdoam” e como calcular os indicadores de segurança de uma via.

3.2 ANÁLISE QUALITATIVA

Na segunda etapa do trabalho, foram obtidos e retirados dados de sinistros de trânsito da Rodovia Estadual SP-088 no trecho entre os km 57,400 a 70, conforme o registro realizado pela Polícia Militar Rodoviária através dos Dados Aberto disponibilizados na plataforma INFOSIGA SP entre os anos de 2019 até 2022.

Uma vez em posse dos dados dos sinistros devidamente parametrizados em função dos tipos de acidentes (acidentes com vítimas fatais, não fatais e óbito), causas dos acidentes e principais veículos envolvidos, realizou-se nesta etapa a análise qualitativa do trecho sob os parâmetros de Segurança Viária.

3.3 DIAGNÓSTICOS DE LOCAIS CRÍTICOS

Uma segunda análise foi realizada no mesmo local do estudo de caso através de uma análise prática sobre a geometria e demais elementos da via e fatores de risco para contribuição de casos de sinistros. Nesta etapa foram identificados os principais pontos críticos e a partir disso elaborado o diagnóstico desses locais para recomendações de melhoria e/ou mitigação desses eventos.

Para a realização desta análise dos locais críticos, foi utilizado o software da Autodesk, o Autocad Civil 3D 2023.

3.4 AUTOCAD CIVIL 3D 2023

O AutoCAD Civil 3D 2023 é um software de design e engenharia desenvolvido pela Autodesk, projetado especificamente para profissionais na área de engenharia civil, topografia, planejamento de terrenos, infraestrutura, e projetos de construção. Ele oferece uma ampla gama de ferramentas e funcionalidades que permitem a criação, análise e documentação de projetos de infraestrutura de maneira eficiente e precisa.

Através do AutoCAD Civil 3D, é possível realizar a criação dos alinhamentos para a definição do traçado da estrada, abrangendo a determinação de curvas horizontais, trechos retos e curvas verticais. Além disso, o software oferece a capacidade de criar perfis longitudinais detalhados, juntamente com seções transversais da estrada, permitindo uma análise minuciosa de como a estrada interage com o terreno circundante. Também é possível calcular e aplicar a superelevação, que envolve a inclinação das curvas, bem como a encurvatura, garantindo que a estrada seja projetada de maneira segura e eficiente para o tráfego. Adicionalmente, o AutoCAD Civil 3D viabiliza análises de visibilidade, assegurando que os motoristas tenham uma visão adequada ao longo da estrada, especialmente em curvas e interseções.

Devido a essas funcionalidades, a escolha do software AutoCAD Civil 3D foi motivada pela sua capacidade de auxiliar nas análises da geometria existente da Rodovia de estudo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 SINISTROS DE TRÂNSITO

4.1.1 Evolução dos Sinistros de Trânsito

Os carros que antecederam a invenção do automóvel que se conhece hoje, já existiam, impulsionadas por tração animal ou à vapor. Conforme explicado por Quintanilha (2023), esses carros pouco práticos e perdiam em popularidade para as bicicletas e as carruagens, mesmo quando em 1769, o francês Nicolas-Joseph Cugnot havia fabricado uma versão de carro movido por motor a vapor, mas que nunca foi considerado um automóvel, devido ao seu sistema de propulsão pouco prático (QUINTANILHA, 2023). Essa modalidade de “carro”, que se distinguia do automóvel, manteve sua popularidade até o final do século XIX, quando o engenheiro alemão Karl Benz inventou o automóvel em 1886, intitulado "Benz Patente-Motorwagen" (QUINTANILHA, 2023). No Brasil, os veículos automotores foram introduzidos através de importações durante a década de 1890 (BAZANI, 2022).

À medida que os automóveis que conhecemos hoje começaram a ganhar popularidade na Europa, tornou-se evidente a necessidade de estabelecer regras para organizar o tráfego contra acidentes: um dos primeiros símbolos a se popularizar foi a bandeira vermelha, que indicava aos motoristas que eles deveriam parar ao vê-la (ESTADÃO, 2022). Os primeiros semáforos surgiram em 1868 e funcionavam de forma manual e utilizando gás. Somente em 1920, nos Estados Unidos, é que o semáforo de três cores, como os atuais, foi desenvolvido (ESTADÃO, 2022).

No Brasil, somente após 20 anos da chegada dos primeiros automóveis, em 1910, é que começaram a ser implementadas as primeiras leis relacionadas ao tráfego de veículos (BAZANI, 2022). Em 1941, foi criado o primeiro conjunto de regras mais abrangente sobre o trânsito, conhecido como Decreto lei nº 3.671, que ficou registrado como o primeiro Código de Trânsito Brasileiro e posteriormente substituído pelo Código Brasileiro de Trânsito, CBT, criado em 1997 (BAZANI, 2022). O Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), órgão governamental responsável pelo controle de tráfego, foi criado em 1967 (BAZANI, 2022).

Desde então, além do seu papel na questão da mobilidade, o automóvel tornou-se parte da paisagem urbana e sua frota só cresceu ao longo dos anos. Nos gráficos a seguir, é possível verificar a linha crescente da frota de veículos cresceu como consequência do aumento populacional e das atividades econômicas entre 2000 e 2010, onde o crescimento da frota

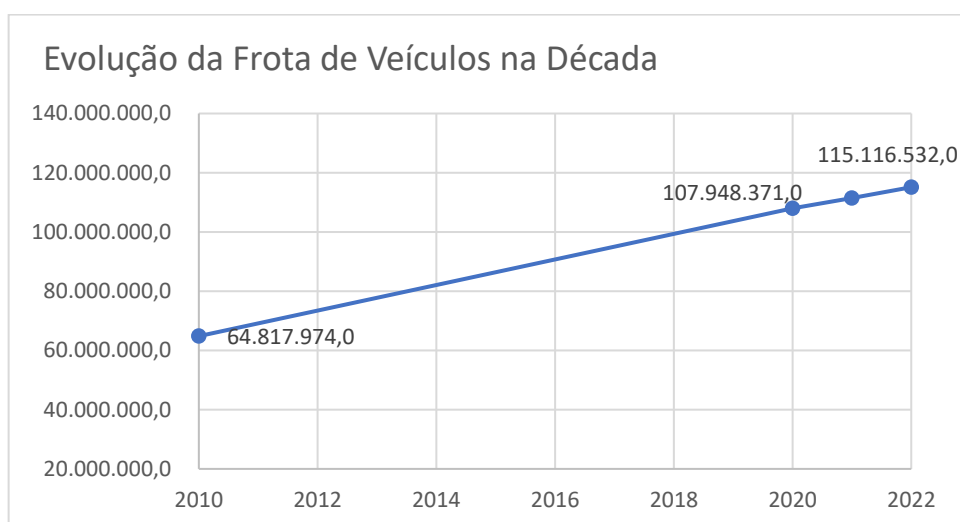
representava 219,69% e entre 2010 até 2023, com a frota apresentando uma tendência de crescimento de 81,64%. Entretanto, apesar da aparente queda no crescimento da frota de veículos de 2010 para 2022, foi desconsiderado os dados após 2020 a 2022 pela distorção de crescimento real, em virtude da pandemia ocasionada pelo SARS-Covid-19. Uma análise mais adequada pode ser feita entre 2020 e 2010, que sugere um crescimento de 166,54%.

Gráfico 7 – Evolução Total da Frota de Veículos na Década 2000-2010



Fonte: Denatran apud G1 (2011).

Gráfico 8 – Evolução Total da Frota de Veículos na Década de 2020-2022¹



Fonte: Adaptação nossa. Ministério dos Transportes (2023).

A tabela a seguir, no entanto, vai nos apresentar dados referente aos acidentes de trânsito para os mesmos períodos. A primeira tabela apresenta os dados de 1952 até 2022, com dados coletados a partir do anuário dos dados abertos da PRF, onde em estão apresentados os

¹ Foram utilizados os dados divulgados até agosto de 2023 disponibilizado no site do Ministério dos Transportes.

dados históricos dos números de acidentes, de mortos e feridos ao longo de um intervalo de 10 anos. É possível observar que após uma alta histórica no número de acidentes em 2012, os números tiveram uma redução para menos da metade dos registros em 2022, mas que, o número de óbitos se manteve estável.

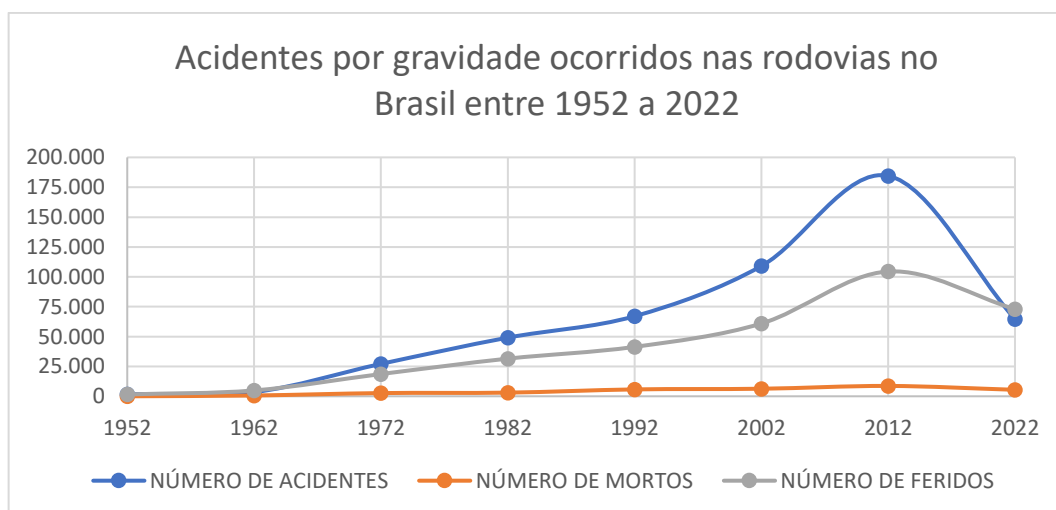
Tabela 3 – Acidentes por gravidade ocorridos nas rodovias policiadas no Brasil entre 1952 e 2022 – intervalos de 10 anos

ANO	NÚMERO DE ACIDENTES	NÚMERO DE MORTOS	NÚMERO DE FERIDOS
1952	1.748	1.95	1.571
1962	3.486	668	4.898
1972	27.114	2.678	18.624
1982	49.090	3.056	31.521
1992	67.021	5.756	41.354
2002	109.025	6.312	60.909
2012	184.561	8.663	104.468
2022	64.547	5.439	72.971

Fonte: Adaptação nossa. PRF (2023).

De forma mais visual, converteu-se os dados obtidos em um gráfico onde cada ponto no gráfico representa um ano, e as coordenadas x, y e z representam o número de acidentes, mortos e feridos, respectivamente. Isso permite visualizar as relações entre essas variáveis ao longo do tempo.

Gráfico 9 – Acidentes por gravidade ocorridos nas rodovias policiadas no Brasil entre 1952 e 2022 – intervalos de 10 anos



Fonte: Adaptação nossa. PRF (2023).

A partir desses dados é possível trabalharmos com a hipótese de que o aumento das frotas de veículos teve um impacto social enquanto risco de acidentes – o aumento da frota sugere uma mitigação dos sinistros de trânsito, conforme a tendência dos anos, mas o número de mortos e feridos, uma vez que a partir dos acidentes, a gravidade (feridos e óbitos) permaneceu no mesmo patamar.

4.1.2 Acidentes ou Sinistros de Trânsito

Anteriormente tratado como “acidentes” quaisquer eventos ligados ao trânsito, a terminologia foi revisada após diversos órgãos ligados ao trânsito e o sistema de seguros entenderem em comum acordo que o termo "acidente de trânsito" não abrange os reais fatores que levam um sinistro, tais como a velocidade, o desenho das vias, as leis e as condições de mobilidade disponíveis para as pessoas, que têm um papel decisivo nos riscos de colisões ou atropelamentos ocorrerem, e podem ser controlados. No entanto, muitas vezes a mídia, os governos, as políticas públicas, o meio jurídico e a sociedade em geral tendem a considerar esses eventos como "acidentes", como se fossem imprevisíveis e aleatórios - mas isso não é verdade. A WRI Brasil (2023), conclui que “acidentes de trânsito” remeteria a algo “inevitável ou que não poderia ter sido evitado”.

Assim, adotou-se também a terminologia da NBR 10.697/2020, que define como Sinistro de trânsito

(...) todo evento que resulte em dano ao veículo ou à sua carga, e/ou em lesões a pessoas e/ou animais, e que possa trazer dano material ou prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou em áreas abertas ao público. (ABNT, 2020, p.1)

Os sinistros de trânsito estão frequentemente relacionados com uma série de fatores que contribuem para sua ocorrência. Dentre os fatores que geram sinistros, a mesma NBR 10.697/202, subdivide conforme tabela a seguir apresentada:

Tabela 4 – Fatores Geradores de Sinistro

Fator	Definição
Fator Externo	Fatores externos à via que prejudicam a segurança do trânsito, responsável pela ocorrência do sinistro, como condições climáticas, ambientais, da natureza, objetos ou animais.
Fator Humano	Comportamento do homem como condutor, passageiro ou pedestre, responsável pela ocorrência do sinistro.
Fator Operacional	Mal posicionamento ou amarração de carga e/ou cargas incompatíveis com as especificações do veículo, responsável pela ocorrência do sinistro.
Fator Veicular	Falha no veículo, negligência na manutenção ou defeito de fabricação, responsável pela ocorrência do sinistro.
Fator Viário	Característica ou deficiência na via ou sua sinalização, responsável pela ocorrência do sinistro.

Fonte: Adaptação Nossa. NBR 10.697/2020.

Ainda dentro dos fatores que geram sinistros, existe também os fatores observados pela NBR 10.697/202, como contribuintes para a geração de ocorrência.

Tabela 5 – Fatores Contribuintes para Geração de Ocorrências

Fator	Definição
Fator Legislação	Ausência, insuficiência ou ineficiência de uma legislação específica vigente sobre o trânsito que contribui para a ocorrência do sinistro.
Fator Fiscalização	Ausência, insuficiência ou ineficiência da fiscalização das normas de trânsito que contribui para a ocorrência do sinistro.
Fator Equipamentos	Ausência, insuficiência ou ineficiência de equipamentos de fiscalização de trânsito que contribui para a ocorrência do sinistro.
Fator Educação	Ausência, insuficiência ou ineficiência de educação para o trânsito que contribui para a ocorrência do sinistro.

Fonte: Adaptação nossa. NBR 10.697/2020.

Em 1970, o médico e pesquisador William Haddon, ao observar o transporte viário e os sinistros, entendeu que se necessitava de estudos com maior abrangência para apurar os fatores que geram sinistros de trânsito e desenvolveu uma forma analítica de propor ações de

mitigação e estratégias em formato de matriz (ONU, 2011). Referência até os dias atuais, a matriz de Haddon é uma ferramenta que auxilia na compreensão da interação dos fatores que geram sinistros de trânsito que são identificados e analisados, possibilitando a compreensão e priorização de medidas a serem adotadas em períodos de curto e longo prazo (ONU, 2011).

Tabela 6 – Matriz de Haddon

		FATORES		
FASE		HUMANO	VEÍCULO E EQUIPAMENTOS	AMBIENTE
Antes da colisão	Prevenção da colisão	Informações Atitudes Condição debilitada Aplicação da lei	Condições mecânicas Luzes Freios Direção Controle de velocidade	Projetos das vias Limites de velocidade Elementos de segurança para pedestres
Colisão	Prevenção de lesões durante a colisão	Uso de dispositivos de retenção Condição debilitada	Cintos de segurança Outros dispositivos de segurança Design com proteção a impactos	Elementos de proteção ao longo das vias
Após a colisão	Preservação da vida	Noções de primeiros socorros Acesso à atenção médica	Facilidade de acesso Risco de incêndio	Facilidade para o resgate Congestionamento

Fonte: SILCOCK D. apud ONU (2011).

Essa matriz considera três fases: antes da colisão, colisão e pós-colisão. Na fase antes da colisão, são analisados fatores relacionados ao ambiente, veículo e condutor, como a infraestrutura de segurança das vias, a manutenção dos veículos e o comportamento dos condutores – nessa fase o foco são elementos e medidas que previnam a ocorrência de colisão. Durante a colisão, são considerados fatores como a velocidade, o uso de dispositivos eletrônicos e o cumprimento das leis de trânsito – nesta fase o foco são os elementos que previnam lesões e reduzam a sua severidade, caso ocorra. Na fase pós-colisão, são avaliados fatores relacionados ao atendimento médico, reabilitação e reparo dos danos – nesta fase o foco são todas as atividades que podem reduzir o dano ocasionado (ONU,2011).

4.1.3 Uso de Tratamento de Dados de Sinistros de Trânsito

Analisar e identificar os dados de sinistros de trânsito é um trabalho fundamental para o processo de melhoria contínua para a segurança viária e entender os fatores preponderantes para a ocorrência dos sinistros.

No Brasil, o registro de ocorrência de sinistros em rodovias é realizado preferencialmente pela Polícia Rodoviária Federal, PRF, a partir do registro de um Boletim de

Acidente de Trânsito (BAT) ou por demais autoridades de trânsito responsáveis pela via (agentes de trânsito, socorristas e concessionária, quando há) (DER/SP, 2021). No Estado de São Paulo, o DER possui um órgão que fiscaliza e realiza o acompanhamento e registro de ocorrências das rodovias, o INFOSIGA SP.

O procedimento inicial de registro de um registro de ocorrências dos órgãos se assemelha ao da PRF. No caso da PRF, para um BAT é necessária à coleta os dados das partes envolvidas (como nome, endereço, telefone, número da carteira de motorista, placa do veículo e informações do seguro). Em seguida é feito todo o registre detalhado das circunstâncias do acidente, incluindo data, hora, local, condições da via, estado do tempo e sinalização presente. Sugere-se as partes interessadas um registro minucioso dos danos causados aos veículos e a outras propriedades afetadas, observações relevantes, como condições de visibilidade, comportamento dos condutores e informações fornecidas pelas testemunhas. Ao final, é realizada a assinatura do BAT, atestando a veracidade das informações fornecidas (DETRAN SP, 2023).

A tabela posterior irá apresentar os possíveis tipos de sinistros, que permitirão dentro do registro do BAT, indicar o idem mais adequado a ocorrência.

Tabela 7 – Tipos de Sinistro de Trânsito

Tipo de Sinistro	Definição
Atropelamento de animal(is)	sinistro de trânsito em que animal(is) sofre(m) o impacto de um veículo em movimento
Atropelamento de pessoa(s)	sinistro de trânsito em que pessoa(s) sofre(m) o impacto de um veículo em movimento
Capotamento	sinistro de trânsito em que o veículo gira sobre si mesmo, em qualquer sentido, ficando em algum momento com as rodas para cima, imobilizando-se em qualquer posição
Choque	sinistro de trânsito em que há impacto de um veículo contra qualquer objeto fixo ou objeto móvel sem movimento
Colisão frontal	colisão que ocorre quando os veículos transitam em sentidos opostos, na mesma direção, colidindo frontalmente
Colisão transversal	colisão que ocorre transversalmente, quando os veículos transitam em direções que se cruzam, ortogonal ou obliquamente
Colisão traseira	colisão que ocorre na frente contra traseira ou na traseira contra traseira, quando os veículos transitam no mesmo sentido ou em sentidos opostos. podendo pelo menos um deles estar em marcha a ré

Tipo de Sinistro	Definição
Engavetamento	sinistro de trânsito em que há impacto entre três ou mais veículos, em um mesmo sentido de circulação. resultado de uma sequência de colisões traseiras, laterais ou transversais
Queda	sinistro de trânsito em que há impacto em razão de queda livre do veículo, queda de pessoas ou cargas transportadas em razão do movimento do veículo
Tombamento	sinistro de trânsito em que o veículo sai de sua posição normal, imobilizando-se sobre uma de suas laterais, sua frente ou sua traseira
Outros sinistros de trânsito	qualquer sinistro de trânsito que não se enquadre nas definições anteriores
Sequência	combinação dos sinistros de trânsito definidos anteriormente, que ocorrem em sequência no mesmo evento

Fonte: Adaptação nossa. NBR 10.697/2020.

Dentre os itens relacionados à emissão do BAT, também estão incluídas a classificação dos sinistros quanto as causas presumíveis estabelecidas no formulário conforme indicadas no quadro a seguir.

Quadro 1 – Causas presumíveis dos acidentes - PRF

Acessar a via sem observar a presença dos outros veículos;	Acesso irregular;	Acostamento em desnível;
Acúmulo de água sobre o pavimento;	Acúmulo de areia ou detritos sobre o pavimento;	Acúmulo de óleo sobre o pavimento;
Afundamento ou ondulação no pavimento;	Animais na Pista;	Área urbana sem a presença de local apropriado para a travessia de pedestres;
Ausência de reação do condutor;	Ausência de sinalização;	Avarias e/ou desgaste excessivo no pneu;
Carga excessiva e/ou mal acondicionada;	Chuva;	Condutor deixou de manter distância do veículo da frente;
Condutor desrespeitou a iluminação vermelha do semáforo;	Condutor Dormindo;	Condutor usando celular;
Conversão proibida;	Curva acentuada;	Declive acentuado;
Deficiência do Sistema de Iluminação/Sinalização;	Deixar de acionar o farol da motocicleta (ou similar);	Demais falhas mecânicas ou elétricas;
Demais falhas na via;	Demais Fenômenos da natureza;	Desrespeitar a preferência no cruzamento;
Desvio temporário;	Entrada inopinada do pedestre;	Estacionar ou parar em local proibido;
Faixas de trânsito com largura insuficiente;	Falta de acostamento;	Falta de elemento de contenção que evite a saída do leito carroçável;

Faróis desregulados;	Frear bruscamente;	Fumaça;
Iluminação deficiente;	Ingestão de álcool e/ou substâncias psicoativas pelo pedestre;	Ingestão de álcool ou de substâncias psicoativas pelo pedestre;
Ingestão de álcool pelo condutor;	Ingestão de substâncias psicoativas pelo condutor;	Mal súbito do condutor;
Manobra de mudança de faixa;	Modificação proibida;	Neblina;
Objeto estático sobre o leito carroçável;	Obras na pista;	Obstrução na via;
Participar de racha;	Pedestre andava na pista;	Pedestre cruzava a pista fora da faixa;
Pista em desnível;	Pista esburacada;	Pista Escorregadia;
Problema com o freio;	Problema na suspensão;	Reação tardia ou ineficiente do condutor;
Redutor de velocidade em desacordo;	Restrição de visibilidade em curvas horizontais;	Restrição de visibilidade em curvas verticais;
Retorno proibido;	Semáforo com defeito;	Sinalização encoberta;
Sinalização mal posicionada;	Sistema de drenagem ineficiente;	Trafegar com motocicleta (ou similar) entre as faixas;
Transitar na calçada;	Transitar na contramão;	Transitar no acostamento;
Ultrapassagem Indevida;	Velocidade Incompatível.	

Fonte: Adaptação nossa. Brasil (2021)

Hoje, a grande dificuldade na análise dos dados dos sinistros está relacionada a existência de diversos órgãos envolvidos no processo, falta de padronização na coleta de dados e à dificuldade de acompanhamento das vítimas hospitalizadas, o que compromete a qualidade das bases de dados. Por isso, em 2020, o CONTRAN propôs a partir da Resolução nº. 808, a complementação dos dados com as informações sobre os dados do serviço médico emergencial e hospitalar, dados do Instituto Médico Legal (IML), dados das seguradoras, dados do tráfego, informações da rodovia (condições da sinalização horizontal e vertical, padrões de viagem, exposição, entre outros), diagrama de colisão (DER/SP, 2021).

O estudo de caso, apresentado nos próximos capítulos, se dará através de uma rodovia estadual. Neste contexto os dados de acidentes são fornecidos pela Polícia Militar Rodoviária (DER/SP, 2021) e o INFOSIGA SP gera relatórios semanais com indicadores de acidentes para identificar locais críticos e realizar o acompanhamento da acidentalidade na malha rodoviária e diagnóstico através de avaliação da documentação de apoio e da inspeção das condições de campo.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS

A classificação de rodovias com base em critérios distintos se tornou fundamental para atender a diversas abordagens e metas de caráter técnico, gerencial e, em última análise, para atender às necessidades dos usuários das estradas em geral. Quando se trata de planejar e executar projetos rodoviários, é essencial dispor de uma classificação que esteja intimamente ligada ao padrão de qualidade dos serviços que a rodovia visa oferecer. Essa classificação, de natureza técnica, está diretamente associada às características geométricas necessárias para cumprir os objetivos da estrada (DNER, 1999).

5.1.1 Classificação Funcional

De acordo com Pontes Filho (1998, p.23) “a classificação funcional rodoviária é o processo de agrupar rodovias em sistemas e classes, de acordo com o tipo de serviço que elas proporcionam e as funções que exercem.” Segundo ele, quanto à função, as rodovias classificam-se em:

- **Arteriais:** proporcionam alto nível de mobilidade para grandes volumes de tráfego. Sua principal função é atender ao tráfego de longa distância, seja internacional ou interestadual.
- **Coletoras:** atende a núcleos populacionais ou centros geradores de tráfego de menor vulto, não servidos pelo Sistema Arterial. A função deste sistema é proporcionar mobilidade e acesso dentro de uma área específica.
- **Locais:** constituído geralmente por rodovias de pequena extensão, destinadas basicamente a proporcionar acesso ao tráfego inframunicipal de áreas rurais e de pequenas localidades às rodovias mais importantes.

5.1.2 Classificação quanto à jurisdição

A jurisdição das rodovias refere-se à autoridade ou responsabilidade legal pela gestão, manutenção, regulamentação e operação de uma rodovia específica. A jurisdição pode variar de acordo com sua localização e nível administrativo, e divide-se nas seguintes categorias:

- **Federais:** Rodovias sob jurisdição federal são de responsabilidade do governo central do país. Essas rodovias frequentemente ligam estados e regiões inteiras e são fundamentais para o comércio e a mobilidade interestadual.
- **Estaduais:** As rodovias sob jurisdição estadual estão sob o controle do governo do estado em que estão localizadas. Essas rodovias normalmente conectam cidades e regiões dentro do estado e são mantidas pelo departamento de transportes estadual.
- **Municipais:** Rodovias municipais são mantidas pelo governo municipal. Elas são estradas que normalmente ligam bairros, zonas industriais ou outras áreas urbanas e são vitais para o tráfego local.
- **Vicinais:** As estradas vicinais, geralmente, se referem a estradas de pequeno porte, que estão sob jurisdição municipal, independentemente de estarem asfaltadas ou não. Elas costumam ser de mão única, atendem áreas locais e têm padrões técnicos relativamente simples. O principal propósito dessas estradas é promover a integração da população e do território na região em que estão localizadas, além de contribuir para o desenvolvimento econômico do setor agrícola. Algumas estradas vicinais também podem ser de propriedade privada, pertencendo a indivíduos ou empresas particulares.

5.1.3 Quanto às condições técnicas

Segundo Pontes Filho (1998), a classificação de rodovias leva em consideração principalmente características que estão diretamente relacionadas à operação do tráfego. Isso inclui fatores como a velocidade permitida, a inclinação das rampas, o raio das curvas, as larguras das pistas e dos acostamentos, a distância de visibilidade e os níveis de serviço, entre outros. A definição dessas características é influenciada principalmente pelos custos, que são

condicionados pelo relevo da área em que a rodovia é construída. Vale ressaltar que o tráfego, sendo o principal objetivo da rodovia, desempenha um papel fundamental nesse processo de classificação.

Conforme o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, elaborado pelo extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), os segmentos que fazem parte da rede nacional de estradas são organizados em cinco classes para fins de projeto, numeradas de 0 a IV. Nesse sistema de numeração, os números mais baixos estão associados a requisitos técnicos mais rigorosos. É importante observar que essas classes são aplicadas integralmente apenas a novas rodovias, uma vez que as rodovias já existentes, em sua maioria, foram projetadas com critérios que diferem dos atualmente recomendados. Essa classificação é fundamental para estabelecer padrões e diretrizes técnicas que atendam às demandas de segurança e eficiência nas rodovias rurais do país.

Segundo o Manual, os principais critérios para definir a Classe de um trecho de uma rodovia são:

- Posição Hierárquica dentro da Classificação Funcional: a hierarquia de tráfego nas rodovias rurais, que se manifesta por meio de diferentes funções, geralmente leva ao aumento do tráfego na direção Sistema Local - Sistema Coletor - Sistema Arterial. No entanto, é importante notar que há uma exceção a essa tendência em trechos com influência urbana, nos quais o tráfego local pode predominar.
- Volume Médio Diário de Tráfego: refere-se à quantidade média de veículos misto que passam por uma rodovia em um período de 24 horas durante um determinado período.
- Nível de Serviço: é definido para rodovias rurais de uma pista com dois sentidos, com referência à natureza do terreno atravessado, podendo ser terreno plano, ondulado ou montanhoso.
- Outros Condicionantes: Um outro elemento de significativa relevância é o fator econômico, que está diretamente associado ao custo da construção da rodovia. Este custo é predominantemente influenciado pelas características topográficas da região onde a estrada será construída, geralmente categorizada em três tipos tradicionais: plana, ondulada e montanhosa.

5.1.4 Classes de Projeto

A criação das classes de projeto foi o resultado da acumulação de experiência ao longo do desenvolvimento da rede rodoviária, refletindo o consenso nacional sobre como atender de maneira economicamente viável e com a devida segurança às crescentes demandas de tráfego. A função desempenhada pela rodovia, juntamente com os volumes de tráfego e os desafios de implantação decorrentes das características do terreno, desempenharam um papel central na definição das várias classes adotadas. No entanto, é importante notar que o processo de classificação das rodovias nas diversas classes foi guiado principalmente por critérios técnicos, não deve ser considerado de forma absoluta (DNER, 1999).

Tabela 8 – Classes de projeto e critérios de classificação técnica

Classes de projeto	Características	Critérios de classificação técnica (*)
0	Via Expressa - Controle total de acesso	Decisão administrativa
I-A	Pista Dupla - Controle parcial de acesso	Quando os valores de tráfego previstos ocasionam níveis de serviço em uma rodovia de pista simples inferiores aos aceitáveis
I-B	Pista simples	Volume horário de projeto VHP > 200 Volume médio diário VMD > 1400
II	Pista simples	Volume médio diário VMD 700 - 1400
III	Pista simples	Volume médio diário VMD 300 - 700
IV-A	Pista simples	Volume médio diário (abertura) VMD 50 - 200
IV-B	Pista simples	Volume médio diário (abertura) VMD < 50

Fonte: DNER (1999)

As classes de projeto categorizam características e diretrizes em diferentes níveis de padrão técnico, e foram desenvolvidas para garantir sua compatibilidade com o sistema de classificação funcional. É importante destacar que, embora os elementos de tráfego desempenhem um papel no estabelecimento das classes em ambos os sistemas de classificação, os critérios adotados variam. A finalidade é associar a cada classe funcional um conjunto

específico de características técnicas que são consideradas adequadas ao nível hierárquico daquela classe.

Conforme especificado no Manual do DNER (1999), os projetos de engenharia devem, em princípio, seguir os critérios estabelecidos para a classe de projeto correspondente à função da rodovia, sem quaisquer outras considerações, exceto a possibilidade de planejar a implantação em etapas. No entanto, é fundamental analisar individualmente cada caso, considerando os critérios e elementos mencionados no manual.

Tabela 9 – Relação geral entre as classes funcionais e as classes de projeto

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

Fonte: DNER (1999)

5.1.5 Níveis de serviço

O termo capacidade é empregado para indicar o número máximo de veículos que se estima que possa transitar por uma seção específica ou um trecho uniforme de uma rodovia durante um certo período, considerando as condições específicas da rodovia e do tráfego. Em uma interpretação mais abrangente, o conceito engloba a relação complexa entre as condições e características da rodovia, a composição do tráfego e os padrões de fluxo, bem como o grau de congestionamento, variando desde níveis de tráfego leves até aqueles que saturam a capacidade da via, avaliando a habilidade da rodovia de acomodar veículos sob diferentes circunstâncias de maneira eficiente (DNER, 1998).

De acordo com Pontes Filho (1998, p.27) “o nível de serviço é estabelecido em função da velocidade desenvolvida na via e da relação entre o volume de tráfego e capacidade da via”. Sendo assim, Pontes define os diversos níveis de serviço em:

(...) nível A: condição de escoamento livre, caracterizado por baixos volumes de veículos e velocidades elevadas. A densidade do tráfego é reduzida, com

os motoristas mantendo velocidades dentro dos limites da via e de acordo com as condições físicas. Não há restrições significativas causadas pela presença de outros veículos na estrada.

(...) nível B: Tráfego em fluxo constante, com velocidades de operação que podem ser limitadas pelas condições de tráfego. Os motoristas têm certa liberdade para escolher suas velocidades e ainda podem realizar ultrapassagens.

(...) nível C: O fluxo permanece estável, mas as velocidades e as ultrapassagens estão agora sujeitas ao controle devido ao alto volume de tráfego. Como resultado, muitos motoristas não têm a liberdade de escolher faixa e velocidade.

(...) nível D: Nas proximidades da zona de tráfego instável, as velocidades de operação, embora toleráveis, são consideravelmente afetadas pelas condições de tráfego. Flutuações no volume de veículos e restrições temporárias podem levar a quedas substanciais na velocidade de deslocamento.

(...) nível E: conhecido como "nível de capacidade", a rodovia opera em sua capacidade máxima, e o fluxo de tráfego é instável, tornando as ultrapassagens impraticáveis.

(...) nível F: representa um tráfego congestionado, com velocidades reduzidas e volumes de veículos abaixo da capacidade máxima da via. Isso resulta em filas extensas que tornam as manobras impossíveis. Em casos extremos, a velocidade e o fluxo de tráfego podem diminuir a ponto de chegar a zero. (PONTES, 1999, p.27-28).

5.1.6 Elementos de seção transversal

Os elementos presentes na seção transversal de uma via desempenham um papel fundamental nas suas características operacionais, estéticas e de segurança. É essencial que esses elementos sejam projetados de acordo com os padrões estabelecidos de velocidade, capacidade de tráfego, nível de serviço, aparência e segurança da via. Entre os principais elementos que influenciam esses padrões, destacam-se a largura da via, o número de faixas de rolamento, os acostamentos, o canteiro central e os taludes. Cada um desses componentes desempenha um papel específico na determinação da eficiência da via, na experiência do usuário e na minimização de riscos

5.1.7 Largura das faixas de rolamento

Segundo (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004, p.57), “a largura de cada faixa de tráfego tem grande influência na segurança e no conforto dos veículos. É composta pela largura do veículo-padrão (U) acrescida dos espaços de segurança (c): $L = U + 2c$.”

O aumento do espaço de segurança nas rodovias, denominado como “c”, está diretamente relacionado com a melhoria da segurança e do conforto oferecidos aos usuários. No entanto, é importante observar que à medida que a largura dos componentes do projeto da rodovia, como as faixas de rolamento e os acostamentos, aumenta, o custo de construção também cresce (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Tabela 10 – Largura das faixas de rolamento em tangentes (em metros)

Classes de projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3,60	3,60	3,60
I	3,60	3,60	3,50
II	3,60	3,50	3,30*
III	3,50	3,30*	3,30
IV-A**	3,00	3,00	3,00
IV-B**	2,50	2,50	2,50

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

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

Fonte: DNER (1999)

5.4.1 Largura dos acostamentos

De acordo com as diretrizes estabelecidas no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais de 1999, “todas as vias deverão possuir acostamentos, pavimentados ou não. A largura designada para o acostamento deverá ser bem visível para os motoristas e deverá ser mantida uniformemente, sem sofrer estreitamento esporádicos desnecessários”.

A configuração ideal para o acostamento seria aquela capaz de acomodar o veículo de projeto e permitir que uma pessoa trabalhe nele, mantendo, ao mesmo tempo, uma distância segura da pista. No entanto, acostamentos excessivamente largos podem ser facilmente

confundidos como uma faixa de rolamento, o que pode incentivar sua utilização em situações perigosas, quando o tráfego está se movendo a velocidades baixas. Portanto, é recomendável que os acostamentos tenham características distintas, como textura, rugosidade, coloração ou outros elementos visuais que os diferenciem claramente da pista principal (DNER, 1999).

Tabela 11 – Largura dos acostamentos externos (em metros)

Classes de projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3,50	3,00*	3,00*
I	3,00*	2,50	2,50
II	2,50	2,50	2,00
III	2,50	2,00	1,50
IV-A**	1,30	1,30	0,80
IV-B**	1,00	1,00	0,50

* Preferivelmente 3,50m onde for previsto um volume horário unidirecional de caminhão superior a 250 veículos.

** Os 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: DNER (1999)

Tabela 12 – Largura dos acostamentos internos (em metros*) - pistas de mão única - Classe 0 ou I-A

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

* Valores excepcionais e recomendados, respectivamente.

** Quando julgado necessário um acostamento. Em caso contrário, adotar os valores referentes a pistas de 2 faixas.

Fonte: DNER (1999)

6.2 PROJETO GEOMÉTRICO

Por definição, projeto geométrico de uma estrada é a

(...) fase do projeto de estradas que estuda diversas características geométricas do traçado, principalmente em função das leis do movimento, características de operação dos veículos, reação dos motoristas, segurança e eficiência das estradas e volume do tráfego (PONTES F. 1998, p. 51)

Para a elaboração de uma geometria, o prof. Pontes (1998) esclarece que são necessários diversos estudos para compreender o comportamento do sistema viário existente para, posteriormente, estabelecer prioridades de ligação.

Quadro 2 – Estudos necessários para elaboração de um projeto viário

Estudos de tráfego.	Estudos geológicos e geotécnicos.
Estudos hidrológicos.	Estudos topográficos.
Projeto geométrico.	Projeto de obras de terra.
Projeto de terraplenagem.	Projeto de pavimentação.
Projeto de drenagem.	Projeto de obras de arte correntes.
Projeto de obras de arte especiais.	Projeto de viabilidade econômica.
Projeto de desapropriação.	Projetos de interseções, retornos e acessos.
Projeto de sinalização.	Projeto de elementos de segurança.
Orçamento da obra e plano de execução.	Relatório de impacto ambiental.

Fonte: Pontes Filho (1998)

A geometria da via exerce influência direta na segurança viária, afetando a habilidade dos motoristas, a ocorrência de conflitos, as consequências de saídas de pista e o comportamento geral dos condutores. Nodari (2003) ressaltou que um traçado geométrico influencia na habilidade do motorista em manter o controle do veículo e identificar situações e características perigosas. Curvas muito fechadas, inclinações acentuadas ou falta de visibilidade podem dificultar a reação adequada do condutor, aumentando o risco de acidentes (NODARI, 2003).

Outro aspecto importante é que a geometria da via impacta na segurança da vida em casos de uma saída de pista de um veículo desgovernado. Dispositivos de segurança como barreiras de contenção, áreas de escape, obstáculos próximos à pista e declividades laterais são determinantes para a gravidade dos acidentes e a segurança dos ocupantes (NODARI, 2003).

Uma sinalização adequada e uma configuração clara da via, também são eficientes na promoção de comportamentos mais seguros. Por outro lado, vias confusas, com mudanças

abruptas de faixa, falta de sinalização ou pouca visibilidade podem levar a comportamentos arriscados e falta de atenção dos motoristas (NADARI, 2003).

O prof. Pontes Filho (1998), ressalta em sua obra que como regra básica, todo projeto de traçado geométrico deve obedecer, como regra básica, os seguintes requisitos: ter curvas com raios maiores possíveis, deve-se utilizar a rampa máxima somente em casos particulares e menor extensão possível; e a visibilidade deve ser assegurada em todo o traçado, principalmente nos cruzamentos e nas curvas horizontais e verticais.

6.2.1 Características de Projeto

Sabendo que as características geométricas de um projeto impactam diretamente nas causas de sinistros, existem critérios na elaboração de projeto de estradas que devem ser analisados e calculados antes mesmo do que seu traçado.

A seguir são observados cada um dos itens que devem ser considerados para caracterizar as informações iniciais de um traçado.

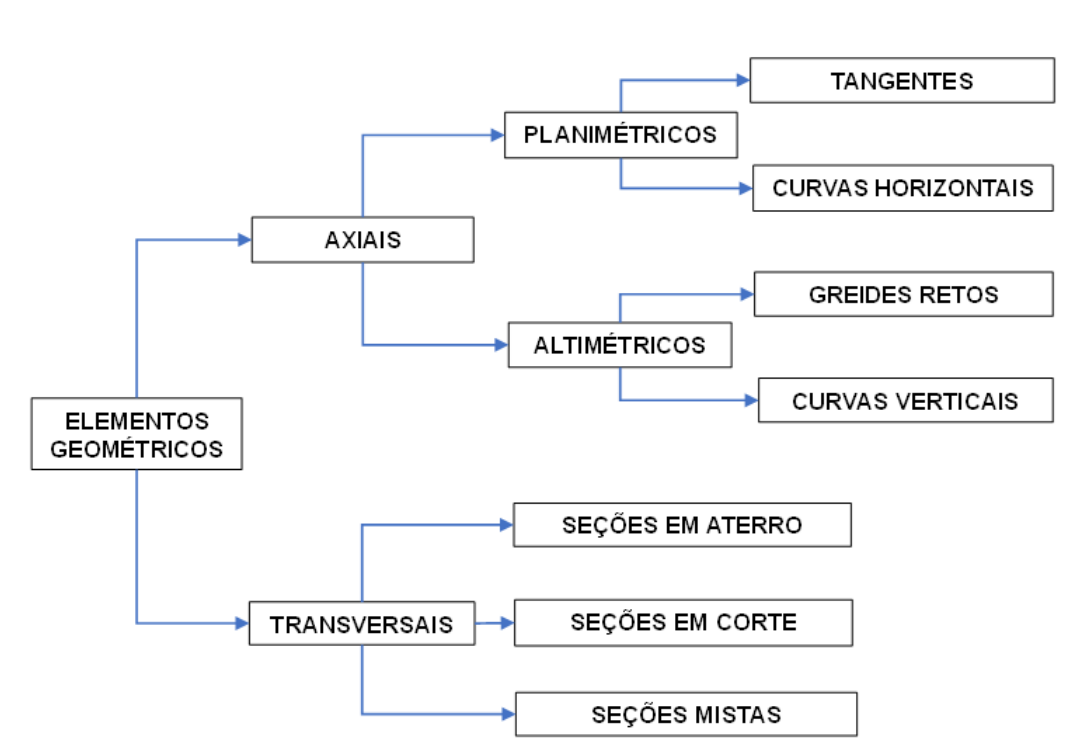
6.2.1.1 Elementos Geométricos das Estradas

Para (PIMENTA; OLIVEIRA P.9, 2004) “a representação gráfica tradicional do projeto geométrico de um trecho de estrada é feita por um conjunto de desenhos denominados: planta, perfil longitudinal e seções transversais”.

O eixo de uma estrada corresponde à sua linha reta central longitudinal, que serve como referência principal para o projeto rodoviário. Ao desenvolver um projeto de rodovia, a disposição do traçado é fundamentada nesse alinhamento central. Nas rodovias, o eixo é geralmente posicionado na parte central da pista de rolamento.

Quando apresentado um projeto em planta, isso envolve a organização de segmentos de estrada em alinhamentos retos, conectados por curvas de concordância horizontal, que permitem uma transição suave entre eles. Essas curvas desempenham um papel crucial no planejamento, assegurando que a estrada seja projetada de forma contínua e segura, com curvas de fácil percepção e manobras confortáveis para os condutores.

Figura 2 – Elementos Geométricos de uma Estrada



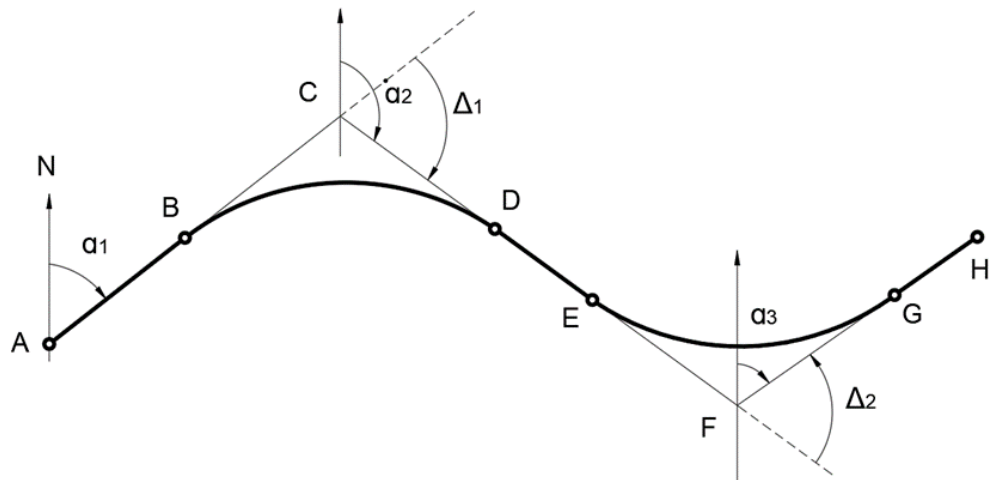
Fonte: Elaboração nossa. Pontes Filho (1998)

6.2.1.2 Curvas horizontais circulares

A concepção de uma rodovia envolve a intercalação de trechos retos e trechos curvos. Os segmentos lineares são chamados de tangentes, enquanto as seções curvas são denominadas curvas horizontais. Para definir o traçado, é necessário ajustar os trechos retos de acordo com a topografia e quaisquer obstáculos presentes no terreno, e então conectá-los por meio de curvas (PIMENTA, OLIVEIRA, 2004).

De acordo com (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004), normalmente, a topografia da área, as propriedades geológicas e geotécnicas dos solos atravessados e questões relacionadas à desapropriação frequentemente requerem a inclusão de várias curvas no projeto. O raio escolhido para cada curva circular deve ser cuidadosamente selecionado para otimizar o ajuste da estrada ao terreno, ao mesmo tempo que cumpre os requisitos mínimos de segurança para os veículos que transitam na velocidade planejada.

Figura 3 – Elementos Geométricos Axiais



Onde:

Os trechos retilíneos AB, DE, e GH são as tangentes.

Os trechos retilíneos BC, CD, EF e FG são as tangentes externas.

Δ_1 e Δ_2 são os ângulos de deflexão.

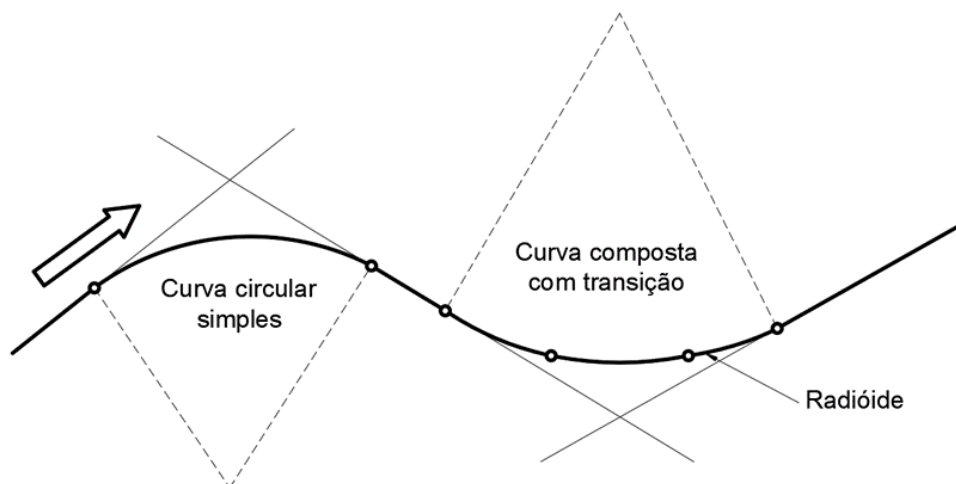
α_1 , α_2 e α_3 são os azimutes dos alinhamentos.

Os arcos BD e EG são os desenvolvimentos das curvas de concordância.

Fonte: Pontes Filho (1998)

Segundo Pontes Filho (1998), as curvas de concordância horizontal são os elementos utilizados para concordar os alinhamentos retos e são classificadas como curvas simples, compostas com transição e compostas sem transição.

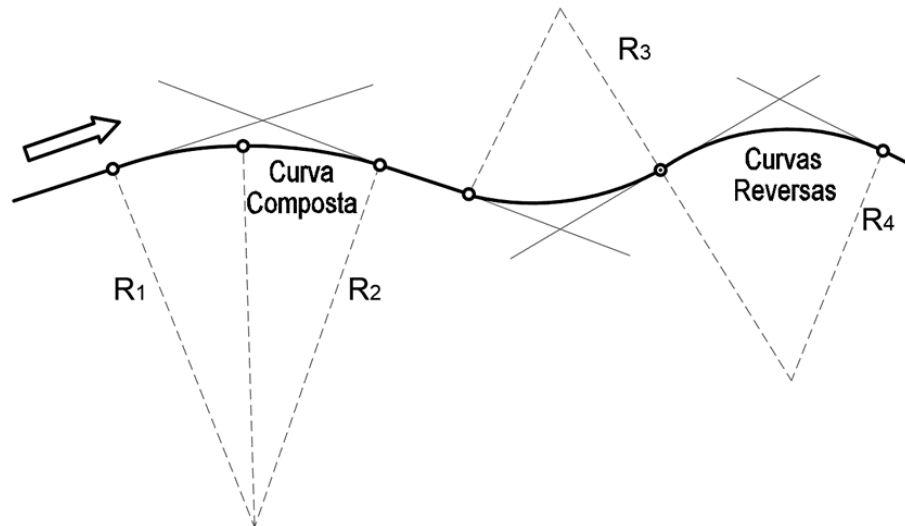
Figura 4 – Elementos Geométricos Curvas Circular Simples e Curva Composta com Transição



Fonte: Pontes Filho (1998)

Quando duas curvas se cruzam em sentidos opostos com o ponto de tangência em comum, são nomeadas como curvas reversas.

Figura 5 – Curva composta e Curva Reversa



Onde:

R_1 , R_2 , R_3 , R_4 correspondem respectivamente ao raio da curva

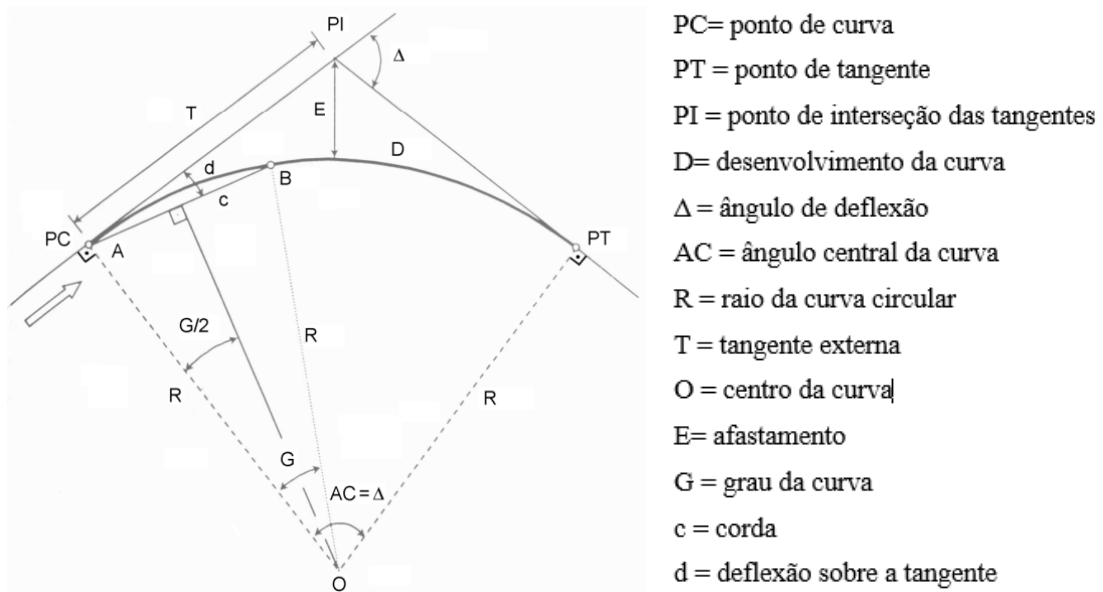
Fonte: Pontes Filho (1998)

A AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) recomenda que deverá ser evitada sempre que possível a utilização generalizada das curvas circulares compostas nos traçados de rodovias.

6.2.1.3 Curva circular simples

As curvas horizontais circulares simples são comumente utilizadas devido à sua facilidade de projetar. Essa forma de conexão ocorre ao unir duas seções lineares com um único arco de círculo. É fundamental estudar esse tipo de curva para incorporá-lo aos projetos, uma vez que, mesmo quando se utiliza uma curva de transição, a curva circular simples ainda desempenha um papel central na concordância (PONTES FILHO, 1998).

Figura 6 – Curva horizontal circular simples

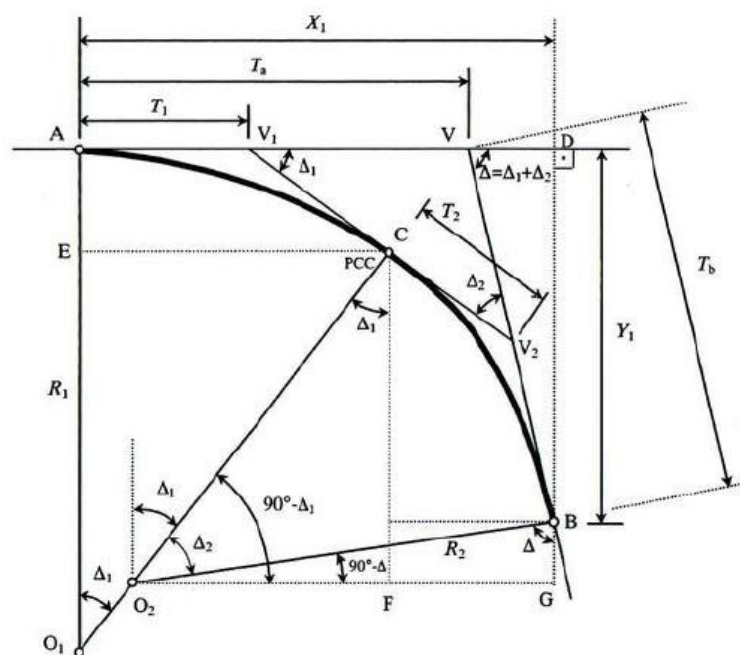


Fonte: Pontes Filho (1998)

6.2.1.4 Curva circular composta

As curvas circulares compostas são predominantemente empregadas em terrenos montanhosos, onde é necessário combinar duas, três ou mais curvas simples com diferentes raios para ajustar o traçado da rodovia às características topográficas da região.

Figura 7 – Curva composta com 2 centros



Y = ordenada de um ponto genérico A

θ_s = ângulo de transição

Φ = ângulo central do trecho circular

SC = espiral-circular

CS = circular-espiral

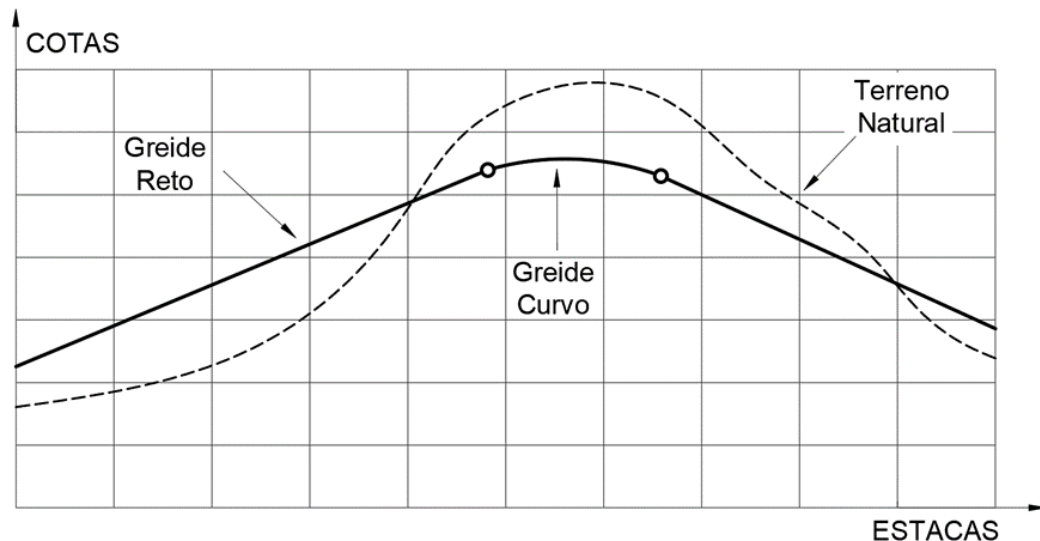
ST = espiral-tangente

Fonte: Pontes Filho (1998)

6.2.1.6 Greides

De acordo com Pontes Filho (1998), o perfil longitudinal do terreno corresponde à representação das variações de nível, cotas ou altitudes em um plano vertical, obtidas por meio do nivelamento realizado ao longo do eixo da estrada. O greide de uma rodovia é o conjunto de altitudes que o perfil longitudinal da estrada deve seguir quando estiver totalmente concluído. Os greides podem ser classificados em retas, caracterizadas por uma inclinação constante em um trecho específico, e curvas, que são adotadas quando se faz uso de uma curva de concordância para ligar os greides.

Figura 9 – Perfil Longitudinal



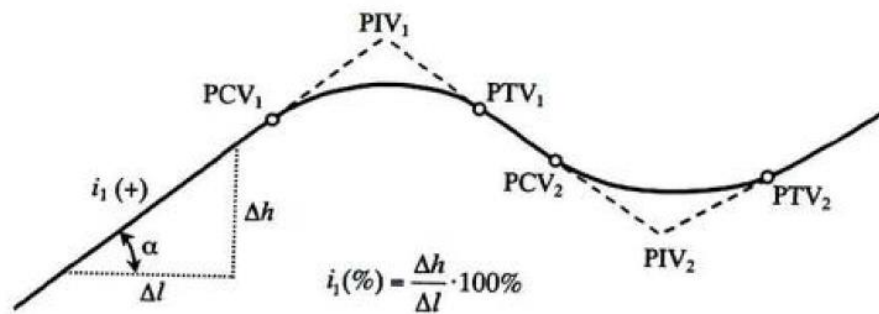
Fonte: Pontes Filho (1998)

6.2.1.7 Curvas verticais

Segundo (PIMENTA; OLIVEIRA P.102, 2004) “as curvas verticais têm por objetivo concordar as rampas projetadas e devem ser escolhidas de forma a atender às condições de segurança, boa aparência e visibilidade, e permitir a drenagem adequada da estrada”.

O planejamento de uma via em perfil é composto por segmentos retos (greides), intercalados de maneira harmoniosa por pares de curvas verticais, proporcionando uma transição suave e eficiente ao longo da estrada.

Figura 10 – Perfil de uma estrada



Onde:

PIV = ponto de interseção vertical

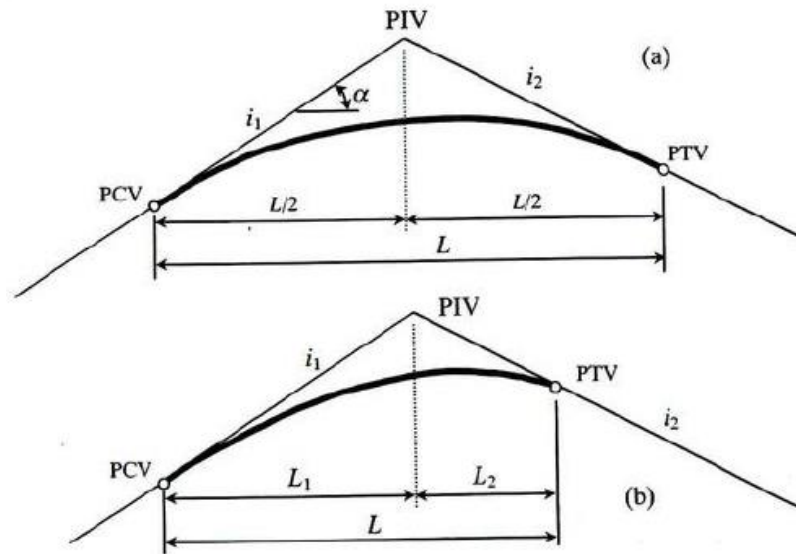
PCV = ponto de curva vertical

PTV = ponto de tangência vertical

Fonte: Pontes Filho (1998)

Conforme Pontes Filho (1998), as curvas convencionais de concordância incluem formas como a parábola de 2º grau, a curva circular, a elipse e a parábola cúbica. O DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) sugere a aplicação de parábolas de 2º grau no dimensionamento de curvas verticais, preferencialmente em relação ao PIV (ponto de interseção vertical).

Figura 11 – Parábolas de 2º grau: (a) simples, (b) composta



Onde:

PIV = ponto de interseção vertical

PCV = ponto de curva vertical

PTV = ponto de tangência vertical

i = inclinação

L = comprimento em metros

Fonte: Pontes Filho (1998)

6.2.1.8 Velocidade de Projeto e de Operação

Por definição, segundo Pontes Filho apud AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*, 1998), a velocidade de projeto, ou velocidade diretriz, é a velocidade máxima que um veículo pode manter em um determinado trecho, em condições normais como segurança, de forma coerente com a topografia do local e a classificação da rodovia. Já a velocidade de operação seria a velocidade média para todo tráfego ou parte dele, sem exceder a velocidade diretriz (PONTES FILHO, 1998).

É a partir da velocidade diretriz que são calculadas certas características técnicas, tais como: raios de curvas, superelevação e distância de visibilidade, das quais depende uma operação segura e confortável dos veículos (DER/SP, 2012)

Na tabela a seguir, é possível verificar a correlação das velocidades junto a classe de projeto (0, I, II, III, IV) e do relevo.

Tabela 13 – Velocidade diretrizes para novos traçados em função da classe de projeto e do relevo

Classes de projeto	Velocidades diretrizes para projeto (km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80
Classe I	100	80	60
Classe II	100	70	50
Classe III	80	60	40
Classe IV	80 - 60	60 - 40	40 - 30

Fonte: DNER (1999)

As especificações recomendadas pelo Programa de Estradas Vicinais PRÓ-VICINAIS e pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) estabelecem velocidades diretrizes específicas para diferentes tipos de relevo.

No entanto, ao aproveitar estradas existentes, a velocidade diretriz pode ser limitada pelas condições do traçado. Nesses casos, é necessário implementar sinalização adequada e impor restrições ao uso da via, garantindo a segurança dos usuários (DER/SP,2012).

6.2.1.9 Veículos de Projeto

Segundo o prof. Pontes Filho (1998), denomina-se veículo de projeto o veículo teórico de uma certa categoria, cujas características físicas e operacionais representam uma envoltória das características da maioria dos veículos existentes nessa categoria.

A relação entre as características físicas dos veículos automotores e a proporção entre os diferentes tipos de veículos exerce influência significativa nos aspectos relacionados ao dimensionamento geométrico e estrutural de uma via como a largura da pista de rolamento e acostamento, superlargura das pistas principais e dos raios mínimos internos das pistas dos ramos, como outros aspectos (DNER, 1999).

No manual de projeto geométrico de rodovias rurais, antigo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) recomenda-se utilizar as características do veículo de projeto usados pela AASHTO, modificando-se apenas a sua designação.

Os veículos de projeto podem ser classificados em quatro grupos básicos, sendo em veículos leves (VP), veículos comerciais rígidos não articulados (CO), veículos comerciais rígidos de maiores dimensões (O), e veículos comerciais articulados (SR). Na tabela 14, são definidos os parâmetros para cada tipo de veículo.

Tabela 14 – Principais dimensões básicas dos veículos de Projeto (em metros)

Características do Veículo	Veículos leves (VP)	Caminhões e ônibus convencionais (CO)	Caminhões e ônibus longos (O)	Semi-reboques (SR)
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8
Raio mínimo da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7
Raio mínimo da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6

Fonte: DNER (1999)

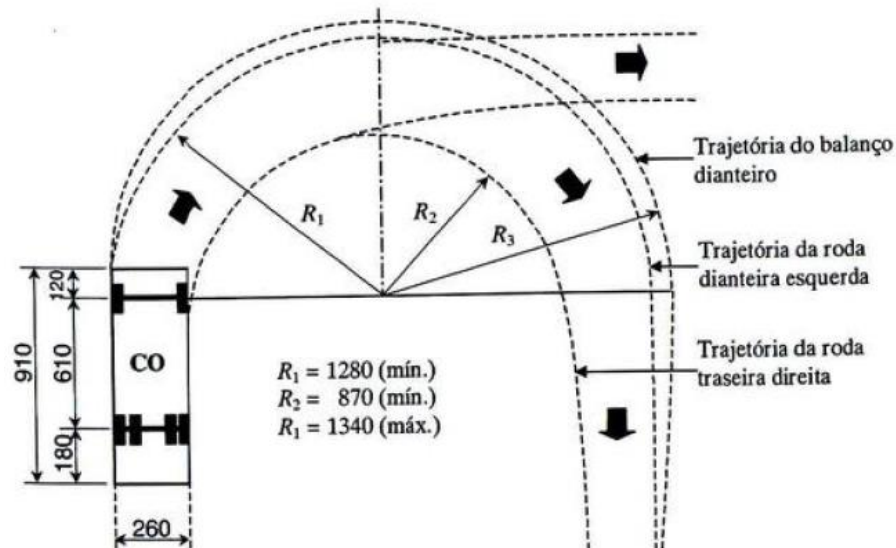
De acordo com as diretrizes estabelecidas no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais de 1999, a escolha do veículo de projeto desempenha um papel crucial no desenvolvimento de projetos rodoviários. O veículo de projeto selecionado deve representar adequadamente a frota de veículos que irá utilizar a rodovia, abrangendo diversos tipos de veículos representativos. O objetivo é minimizar a presença de veículos com características mais desfavoráveis em relação ao veículo de projeto, de modo a reduzir ao mínimo os efeitos adversos decorrentes dessa presença.

A seleção do veículo de projeto deve ser baseada na compreensão da composição do tráfego atual e futuro da via. Isso pode ser obtido por meio de contagens de tráfego ou projeções que levam em consideração o desenvolvimento futuro da área que a rodovia atenderá. A utilização de cada trecho do projeto viário também desempenha um papel importante na escolha do veículo de projeto adequado.

No contexto brasileiro, é comum que a presença de veículos comerciais, como ônibus e caminhões convencionais, seja significativa no tráfego rodoviário. Portanto, o veículo de projeto "CO" é frequentemente adotado como o veículo de referência para o desenvolvimento de projetos rodoviários. Esse veículo é escolhido de forma a considerar as

características desses veículos comerciais, que têm uma influência substancial nas características de projeto da via.

Figura 12 – Dimensões do veículo de projeto CO (cm)



Onde:

R_1 , R_2 , R_3 correspondem respectivamente ao raio da curva

Fonte: PONTES FILHO (1998)

6.2.1.10 Raio de Curvas

Em sua dissertação, Nodari (2003) analisou a incidência de acidentes em trechos curvos e retos e observou uma maior probabilidade de ocorrência de acidentes nos trechos curvos do que trechos retos. O número de acidentes em trechos curvos representava cerca de 1,5 a 4 vezes maior do que nos trechos retos - a justificativa disso está na capacidade de reação do motorista e do veículo (NODARI apud AASHTO, 1997).

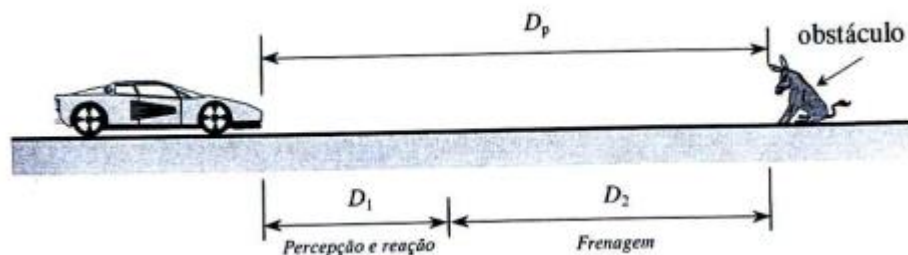
6.2.1.11 Distância De Visibilidade

A visibilidade é um fator decisivo para a segurança e eficiência de uma estrada, uma vez que é essencial que a estrada proporcione boas condições de visibilidade aos motoristas uma vez que elementos como: mudanças de direção, declives e curvas horizontais e verticais podem limitar a visibilidade ao longo da via.

As distâncias de visibilidade de parada e de ultrapassagem são parâmetros importantes no projeto geométrico rodoviário. Elas determinam os padrões de visibilidade necessários para que os motoristas tenham uma visão clara da estrada, evitando limitações visuais relacionadas às características geométricas da via. Isso permite que eles possam controlar o veículo a tempo, seja para parar, interromper ou concluir uma ultrapassagem, garantindo conforto e segurança. (PONTE FILHO, 1998)

A distância de visibilidade está diretamente relacionada à velocidade. É fundamental que trechos de rodovia atendam aos requisitos mínimos de visibilidade, como a distância de visibilidade de parada e a distância de visibilidade de ultrapassagem, estabelecidos por estudos da AASHTO (Associação Americana de Autoridades de Transporte em Rodovias) e adotados pelo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) para garantir a segurança viária (PONTE FILHO, 1998).

Figura 13 – Distância de Visibilidade de Parada



Onde:

D_p – Distância de visibilidade de parada

D_1 – Distância de percepção e reação

D_2 – Distância de frenagem

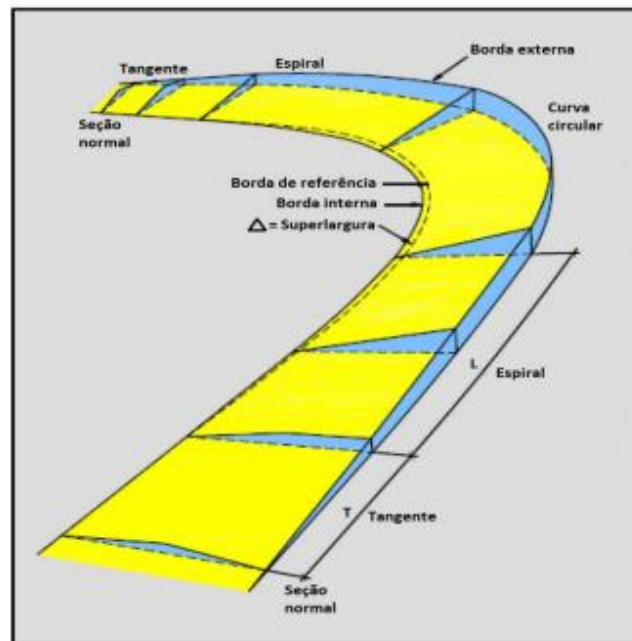
Fonte: PONTES FILHO (1998)

6.2.1.12 Superelevação

Pela definição de Pontes Filho (1998), Superelevação

é a inclinação transversal necessária nas curvas a fim de combater a força centrífuga desenvolvida nos veículos e dificultar a derrapagem. Ela é função do raio de curvatura e da velocidade do veículo. (PONTES FILHO, 1998, p. 171)

Figura 14 – Superelevação



Fonte: CNT (2021) apud DNIT(2010)

Na figura anterior, é possível entender de forma visual como ela se dá nas estradas e rodovias. A seguir, verificaremos a fórmula utilizada para se calcular a superelevação de uma pista, desenvolvida pela ASSHTO. As grandezas desta fórmula são a velocidade (V), o raio (R), a superelevação (e), coeficiente de atrito transversal (f).

Equação 1 – Fórmula da Raio de Uma Curva

$$e + f = \frac{V^2}{127.R}$$

Onde:

e = superelevação

f = coeficiente de atrito transversal

R = raio

V = velocidade

Fonte: PONTES FILHO (1998)

O DNIT (1999) recomenda que as taxas de superelevação estejam sempre em torno de 8%. Valores acima de 8%, como 10% só podem ser uma opção a volumes de tráfegos ininterruptos em regiões planas ou onduladas. Os valores de 12% são limitados em casos de

melhorias e correção de situações perigosas sem alteração de raio em planta, mediante a situações econômicas ou impossibilidade e devem ser evitados (DNER, 1999).

Tabela 15 – Valores dos Raios Mínimos em Função das Taxas Máximas de Superelevação em metros (m)

$e_{\max} \%$	Velocidade diretriz (km/h)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
4	30	60	100	150	205	280	355	465	595	755
6	25	55	90	135	185	250	320	415	530	665
8	25	50	80	125	170	230	290	375	475	595
10	25	45	75	115	155	210	265	345	435	540
12	20	45	70	105	145	195	245	315	400	490

Fonte: DNER (1999)

Tabela 16 – Valores dos Raios acima dos quais a superelevação é dispensável

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

Fonte: DNER (1999)

6.2.1.13 Superlargura

Pela definição de Pontes Filho (1998), Superlargura

é o aumento de largura necessário nas curvas para a perfeita inscrição dos veículos. Quando um veículo percorre uma curva e o ângulo de ataque de suas rodas diretrizes é constante, a trajetória de cada ponto do veículo é circular. O anel circular formado pelas trajetórias dos diversos pontos do veículo é mais largo que o gabarito transversal do veículo em linha reta. (PONTES FILHO, 1998, p. 195)

A seguir, verificaremos a fórmula utilizada para se calcular a superelevação de uma pista, desenvolvida pelo DNER (1999) para um veículo de projeto adotado. As grandezas desta fórmula são a velocidade (V), o raio (R), a superelevação (e), largura total em curva da pista de 2 faixas de tráfego (L_T), largura básica da pista em tangente (L_B), gabarito estático do veículo em curva (G_C), folga lateral do veículo em movimento (G_L), acréscimo devido ao balanço dianteiro em veículo em curva (G_F), folga dinâmica (F_D).

Equação 2 – Fórmula da Superlargura

$$S = L_T + L_B$$

$$L_T = 2 \cdot (G_C + G_L) + G_F + F_D$$

Onde:

S = superlargura

L_T = largura total em curva da pista de 2 faixas de tráfego

L_B = largura básica da pista em tangente

G_C = gabarito estático do veículo em curva

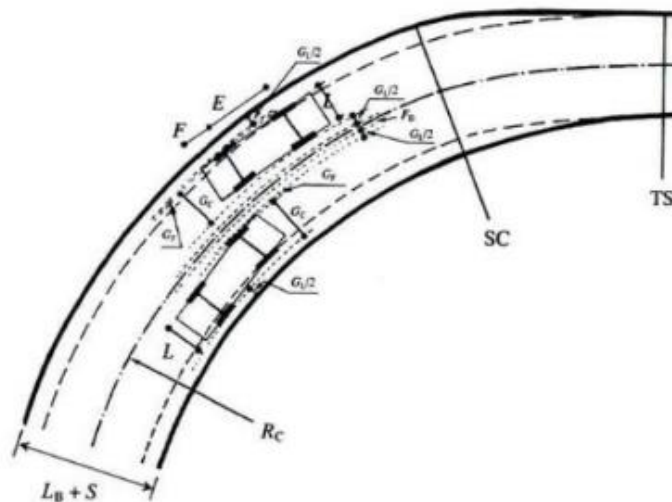
G_L = folga lateral do veículo em movimento

G_F = acréscimo devido ao balanço dianteiro em veículo em curva

F_D = folga dinâmica

Fonte: PONTES FILHO (1998)

Figura 15 – Elementos intervenientes no cálculo da superlargura



Onde

S = superlargura

L_B = largura básica da pista em tangente

R_C = raio da curva

SC = espiral-circular

TS = tangente-espiral

Fonte: PONTES FILHO (1998) apud DNER(1975)

A necessidade de superlargura vai aumentar de acordo com o porte do veículo e com a redução da largura básica da pista em tangente (PONTES FILHO, 1998). Por conta disso,

o DNER elaborou uma tabela que apresenta os valores dos raios acima dos quais é dispensável a super largura a seguir representada.

Valores dos Raios acima dos quais a superlargura é dispensável

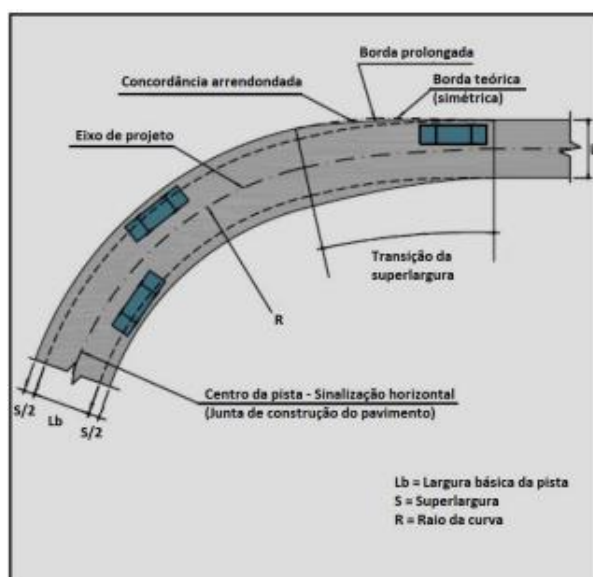
V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	Tipo de Veículo
R (m)	130	160	190	220	260	310	360	420	CO
R (m)	270	300	340	380	430	480	540	600	SR
LARGURA BÁSICA DA PISTA EM TANGENTE - 7,20m									

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	Tipo de Veículo
R (m)	340	430	550	680	840	1000	CO
LARGURA BÁSICA DA PISTA EM TANGENTE - 6,60m							

Fonte: DNER (1999)

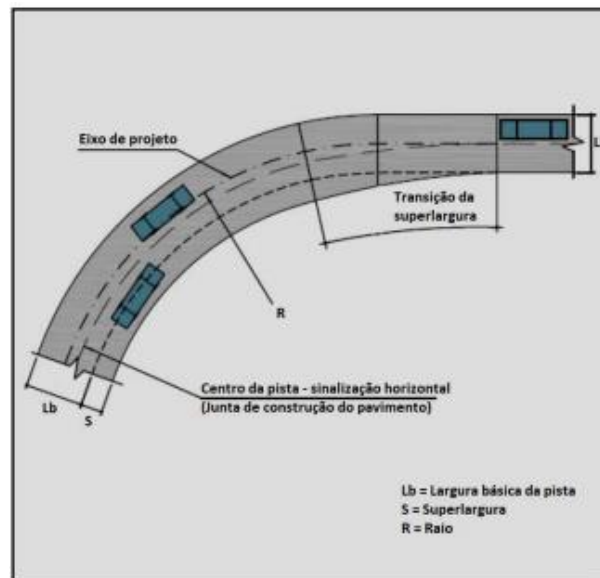
O Manual do DNER (1999), a partir de duas pistas, subdivide a implantação da superlargura pode ser disposta em dois tipos: alargamento simétrico (Figura 16) e assimétrico da pista (Figura 17). As figuras a seguir vão identificar ambos os tipos, a partir das suas características principais: o “S” do alargamento simétrico vai ocorrer disposta de forma igualitária em casa lado da pista e o “S” do alargamento assimétrico ocorrerá somente no trecho de curva utilizado para a superelevação.

Figura 16 – Superlargura por alargamento simétrico da pista



Fonte: CNT (2021) apud DNIT(2010)

Figura 17 – Superlargura por alargamento assimétrico da pista



Fonte: CNT (2021) apud DNIT(2010)

O alargamento assimétrico acontece quando a superlargura é totalmente aplicada no lado interno da curva. Quando a curva é dotada de curva de transição, o manual do DNER (1999) recomenda utilizar alargamento simétrico e quando a curva é do tipo circular simples sem transição ou a curva está condicionada a problemas de execução ou de aproveitamento de faixa de domínio, recomenda-se o alargamento assimétrico

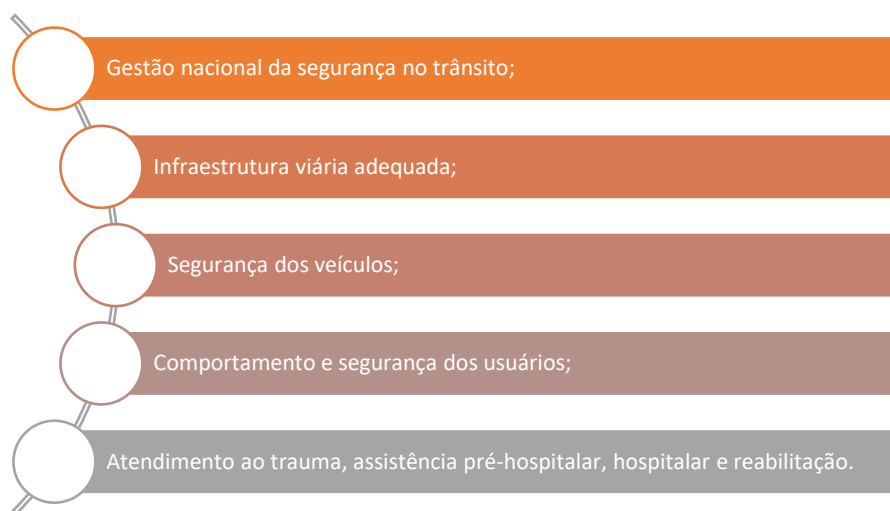
6.3 SEGURANÇA VIÁRIA

Conforme visto inicialmente, investigar os fatores viários e suas interações nos acidentes de trânsito assim como os elementos de segurança viária são elementos fundamentais para o bem-estar e desenvolvimento das populações envolvidas direta ou indiretamente no trânsito.

Após a série histórica de 2000 com os sinistros de trânsito mundialmente apresentando uma taxa de morte de 1,3 milhão de pessoas por ano em razão dos acidentes de trânsito e aproximadamente 50 milhões acidentes com lesão com sequelas físicas, mentais e/ou psicológicas que impedem uma vida normal (FERRAZ, 2012), em 2010 a Organização Mundial das Nações Unidas (ONU) estabeleceu um programa mundial para o período de 2011 a 2020 intitulado como “Década para Segurança Viária”, através da resolução A/RES/64/255 de 02/03/2010. A resolução em questão tinha como objetivo principal trabalhar a redução de 50% na mortalidade em decorrência dos sinistros de trânsito.

Uma década se passou e embora os números não atendessem os esperados 50% de redução, observou-se no Brasil uma redução de 34% em seus números de acidentes (MEYER, 2023). Entendendo que é um objetivo a ser alcançado, a ONU renovou a “Década para Segurança Viária” para o período de 2021 a 2030, indicando agora 6 eixos de trabalho dentre eles incluindo a necessidade atendimento pós-sinistro; e ao acesso aos dados de sinistros (MEYER, 2023).

Figura 18 – Década de Ação para a Segurança Viária: Pilares de Atuação



Fonte: Adaptação nossa. OMS (2018).

6.3.1 Indicadores de Segurança Viária

Analisar os indicadores de uma via é fundamental para medir números de acidentes, número de mortos e feridos e demais fatores que possam interferir na propagação de um trânsito seguro. Existem diversos indicadores que permitem analisar e estabelecer padrões de uma rodovia, mas para os fins deste trabalho, utilizou-se os indicadores de segurança viária.

Dentre os indicadores de segurança viária, destacam-se os indicadores de resultados relacionados à exposição: quanto maior a exposição, maior a probabilidade de ocorrência do evento (ex.: número de acidentes, acidentes com feridos e acidentes com mortos, entre outros) e podem 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 (DER/SP, 2023); Os indicadores de resultado são úteis para se traçar metas, obter recursos e medir o progresso geral dos programas de redução dos acidentes,

mas também os indicadores podem mascarar resultados, “uma vez que um número muito elevado de mortes não é aceitável, mesmo que haja grande exposição” (DER/SP, 2023, p. 98).

O Manual do DER/SP (2023) recomenda que as análises sejam 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.

A seguir apresentam-se os indicadores e o tratamento dos dados, sugeridos pelo Manual de Segurança Viária do DER/SP (2023). Inicialmente, calcula-se o grau de exposição a um evento, utilizando-se a equação abaixo:

Equação 4 – Equação de Exposição

$$\text{Exposição} = \text{VDM} \times \text{extensão do segmento} \times \text{número de dias no período}$$

DER/SP (2023) apud DNIT (2020)

Em posse dos valores de exposição, foi calculado os índices de acidentalidade de acordo com os dados obtidos pelos órgãos responsáveis pelo controle dos registros (Polícia Federal Rodoviária, para dados federais e Polícia Militar Rodoviária para dados estaduais), representadas através da incógnita N , sendo os valores para A , caracterizados como acidentes, V para vítimas e M para mortos.

Equação 3 – Índices de Segurança Viária

Índice de Acidentes (IA)	$I_A = \frac{N_A}{\text{Exposição}} \times 10^6$
Índice de Vítimas (IV)	$I_V = \frac{N_V}{\text{Exposição}} \times 10^6$
Índice de Mortos (IM)	$I_M = \frac{N_M}{\text{Exposição}} \times 10^6$

Onde

N_A = Número de Acidentes

N_V = Número de Vítimas

N_M = Número de Mortos

Exposição = índice de exposição

Fonte: DER/SP (2023)

A partir dos cálculos dos índices, para a identificação da criticidade de um trecho, devem-se analisar os dados de acidentes de forma ponderada, considerando a severidade de cada ocorrência dentro do período de análise. Para isso, utiliza-se a fórmula para a Unidade

Padrão de Severidade (UPS), adaptada de normas internacionais e utilizada pelo DER/SP e DNIT, através de ponderações matemáticas aos danos, sendo Acidentes com danos materiais somente - multiplica-se por 1 ($N_A \times 1$); Acidentes com vítimas - multiplicar por 5 ($N_V \times 5$); Acidentes com mortos — multiplicar por 13 ($N_M \times 13$) (DER/SP, 2023).

Equação 4 – Equação de Unidade Padrão de Severidade (UPS)

$$UPS = (N_A \times 1) \times (N_V \times 5) \times (N_M \times 13)$$

Onde

N_A = Número de Acidentes

N_V = Número de Vítimas

N_M = Número de Mortos

DER/SP (2023) apud DNIT (2020)

Na continuação, com os valores de UPS obtidos para os segmentos avaliados, foi calculado o Índice Ponderado de Acidentes (I_p). Este indicador é um indicador utilizado para classificar pontos ou segmentos críticos (DNIT, 2023) e é calculado conforme a seguir:

Equação 5 - Índice Ponderado de Acidentes (IP)

$$I_p = \frac{UPS \times 10^6}{Exposição}$$

Onde

UPS = Unidade Padrão de Severidade

Exposição = índice de exposição

DER/SP (2023) apud DNIT (2020)

É a partir do cálculo de I_p que é possível determinar Índice Crítico (I_c), para a determinação dos segmentos críticos. Para o contexto rodoviário, utiliza-se para K o valor de 1,645, com 95% de confiança por ser o valor é adotado pelo DER/SP, Artesp e DNIT e é utilizado no contexto das rodovias norte-americanas (DER/SP, 2023). O Índice Crítico é calculado usando a distribuição de a seguir.

Equação 6 - Índice Crítico (IC)

$$I_c = I_p \times K \times \sqrt{\frac{I_p}{Exposição}} - \frac{0,5}{Exposição}$$

Onde

I_p = Índice Ponderado de Acidentes

K = constante de confiança (DER/SP utiliza 1,645 como fator em suas rodovias)

Exposição = índice de exposição

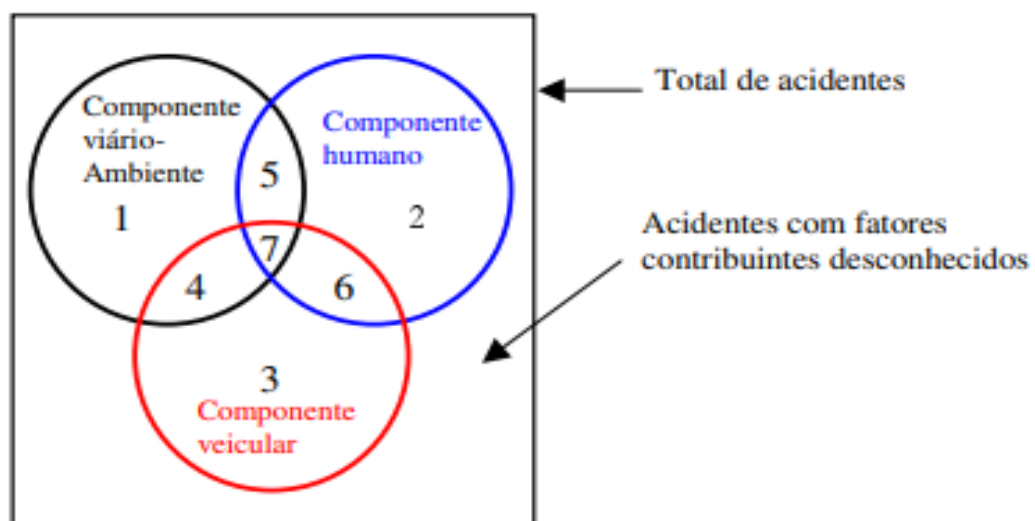
DER/SP (2023) apud DNIT (2020)

O segmento será considerado crítico pelos critérios do Manual de Segurança Viária (2023), se o Índice de Ponderado de Acidentes for maior do que o Índice Crítico ($I_p > I_c$).

6.3.2 Rodovias que Perdoam

Como definido anteriormente, os fatores de risco ou geradores de sinistros são fatores contribuintes para a ocorrência de sinistros: externo, humano, operacional, veicular, viário. Em seu estudo Nodari (2003), correlacionou os componentes interagindo entre si, conforme apresentado na figura abaixo, pois entende-se que os sinistros normalmente resultam da interação entre dois ou mais fatores e podem pertencer a dois componentes distintos.

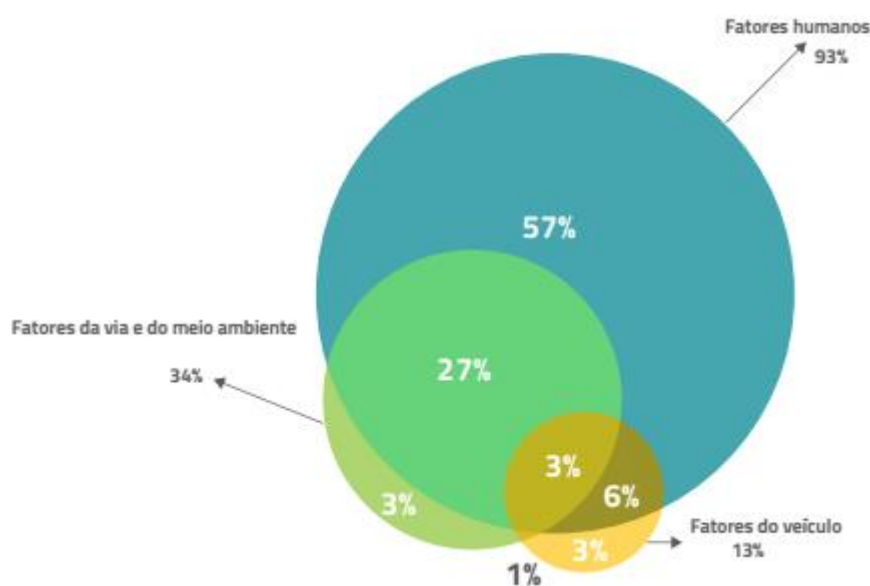
Figura 19 – Componente dos sinistros viários e suas interações



Fonte: Nodari (2003) apud Sayed et Abdelwahab (1997).

Observando o diagrama da imagem, nota-se que o fator humano é o principal responsável pelos sinistros, seguido pelo ambiente viário e, por último, pelo veículo (NODARI apud AUSTROADS, 1994). É possível observar uma semelhança da figura anterior com a figura a seguir, a partir de um estudo realizado pela ASSHTO (2010), que aponta o fator humano como a maior causa dos sinistros viários.

Figura 20 – Fatores de risco e/ou contribuintes para os sinistros



Fonte: DER/SP (2023) apud AASHTO (2010).

No Manual de Segurança Viária do Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo (DER/SP, 2023, p.114) aponta ser “insuficiente a explicação de que um acidente ocorreu apenas devido a uma falha humana”. Aliás, é importante destacar que as contramedidas mais eficazes nem sempre estão relacionadas à principal "causa" do sinistro – a solução mais eficiente pode ser direcionada a um componente diferente daquele que motivou o sinistro tais como melhorias na infraestrutura viária e utilização de dispositivos de segurança, que podem ser mais econômicas e fáceis de implementar do que educar e fiscalizar os motoristas para lidar com ambientes complexos (NODARI apud OGDEN, 1996).

É importante ressaltar que deficiências na infraestrutura viária ou nas características do veículo têm o potencial de intensificar as consequências de um acidente, assim como ela também pode contribuir para a segurança do condutor. As ações de engenharia exercem impacto no comportamento dos condutores, da mesma forma que as iniciativas de educação e fiscalização. Portanto, visando prevenir a ocorrência de acidentes e minimizar suas gravidades, a abordagem sistêmica de revisão da geometria da via e de seus componentes tem se

apresentado como uma alternativa eficaz para a melhoria da segurança no trânsito – e é nesse contexto que surge as “Rodovias que Perdoam”.

O conceito das “Rodovias que Perdoam” são vias que evitam acidentes de trânsito causados pelo erro humano ou minimizam as suas consequências, a partir da premissa que a vida humana é prioridade e que nenhuma vida perdida no trânsito é aceitável – compreende-se que os erros humanos são inevitáveis e, portanto, os projetistas das rodovias devem considerá-los como parte do processo de planejamento (CNT, 2021). Segundo CNT (2021), na década de 1960, nos Países Baixos, teve início a primeira abordagem do conceito de segurança viária das “Rodovias que Perdoam”. No Brasil, essa ideia foi oficialmente incorporada às normas de segurança no tráfego por meio da ABNT NBR 15486, publicada em 2007 e revisada em 2016 (CNT, 2021).

No quadro a seguir, estão apresentados, os tipos verificados pelo Painel de Acidentes de Trânsito CNT, dos quatro tipos de acidentes mais frequentes nas rodovias brasileiras, no período de 2007 a 2020 e relacionando o dispositivo que se aplicaria ao conceito de “Rodovias que Perdoam” e, a seguir, apresentado de forma sucinta esses dispositivos.

Quadro 3 – Relação de tipos de acidentes e elementos de “Rodovias que Perdoam”

Elementos de rodovias que perdoam	Tipos de acidente mais frequentes no Brasil			
	Colisão com outro veículo	Saída de pista	Capotamento/Tombamento	Atropelamento
Contenção lateral		X	X	X
Contenção central	X	X	X	
Atenuador de impacto	X			X
TAE	X	X	X	
Zona livre	X		X	
Área de escape	X		X	
Sonorizador	X	X	X	X
Faixa de alerta	X	X	X	
Superlargura/Superelevação	X	X	X	

Fonte: CNT (2021)

6.3.2.1 Zona Livre

Na terminologia da NBR 15.486/2016, a zona livre é uma “área lateral à pista de rolamento que seja traspassável, sem obstruções e sem obstáculos fixos, podendo ser utilizada por veículos errantes para recobrar o controle ou chegar a uma parada segura” (ABNT, 2016, p.12). A presença de uma zona livre nas vias tem um impacto direto na necessidade de instalar dispositivos de contenção viária: se a largura da zona permitir a travessia segura sem obstáculos fixos, não é necessário implementar tais dispositivos (CNT, 2021).

A NBR 15.486/2016, define que a largura da zona livre será obtida em função da velocidade de projeto, do Volume Diário Médio (VDM) e da declividade lateral da pista. Para as pistas simples, o VDM total utilizado é referente aos dois sentidos; em pistas duplas, utiliza-se somente o VDM da pista no sentido do tráfego em análise e, em marginais segregadas, deve-se considerar o VDM para cada pista. Ainda, para calcular a zona livre na parte externa de curvas, a largura calculada pode ser ajustada de acordo com fatores de correção, em função da velocidade e do raio da curva (ABNT, 2016). A largura ideal da zona livre, variando de 2,0 a 14,0 metros conforme norma, nem sempre pode ser alcançada pois a presença de obstáculos como árvores, postes e pilares apresentam potencial perigo e, se não puderem ser removidos, devem ser redesenhá-los para permitir a travessia segura ou realocá-los para reduzir os riscos (CNT, 2021). Mesmo a sinalização vertical pode ser considerada um obstáculo, e a utilização de dispositivos colapsáveis - suportes projetados para ceder quando impactado por veículos - pode ser uma opção para minimizar impactos, como uma zona de escape (CNT, 2021).

Figura 21 - Exemplo de Zona de Escape



Fonte: CNT (2021) apud Tribuna do Paraná (2018)

6.3.2.2 Dispositivo de contenção viária

Na terminologia da NBR 15.486/2016, um dispositivo de contenção viária são

dispositivos instalados na via com o objetivo de conter, absorver energia de impacto e redirecionar os veículos desgovernados, reduzindo a gravidade do acidente, impedindo que estes invadam zonas perigosas ou alcancem um obstáculo fixo, protegendo, desta forma, os usuários da via e reduzindo as consequências do acidente (ABNT, 2016, p.11).

Os dispositivos de contenção viária podem ser classificados entre longitudinais ou pontuais. Os dispositivos de contenção longitudinal podem ser dos tipos lateral e central: os laterais têm o objetivo de prevenir que o veículo colida com um obstáculo fixo na lateral ou ultrapasse um terreno perigoso, e os centrais que são responsáveis por separar o tráfego de sentidos opostos, prevenindo que um veículo atinja outro frontalmente (CNT, 2021). Nas figuras a seguir, estão representados os tipos de defesa metálica e na figura consecutiva as barreiras New Jersey (de concreto).

Figura 22 - Exemplo de Defesa Metálica Lateral



Fonte: CNT (2021) apud CNT (2019)

Figura 23 – Exemplo de Barreira New Jersey



Fonte: CNT (2021) apud CNT (2019)

Os dispositivos de contenção pontual são com o objetivo de conter e absorver a energia de veículos desgovernados, utilizados para diminuir a severidade de colisões que resultam em uma carga de impacto concentrada (CNT, 2021). São subdivididos em dispositivos atenuadores de impacto e terminais absorvedores de energia (TAE).

Os atenuadores de impacto atuam na absorção da energia causada pela colisão de um veículo desgovernado, em geral, implantados em pistas de desaceleração, cabines de pedágio e outros pontos fixos que possam representar perigos relacionados à velocidade nos impactos frontais, atuando de forma controlada, em um curto espaço por meio da deformação do material do atenuador de impacto, como é possível observar nos exemplos das figuras a seguir (CNT, 2021).

Figura 24 – Exemplo de Dispositivo Atenuador de Impacto



Fonte: CNT (2021) apud LÍCIO (2018)

Figura 25 – Exemplo de Barreira com Baldes com Areia



Fonte: CNT (2021) apud TOTH (2009)

Outro tipo de dispositivo pontual são os terminais absorvedores de energia (TAE) que, quando atingidos frontalmente, têm a mesma função dos atenuadores de impacto: absorver energia (CNT, 2021). Como é possível observar na figura a seguir, os terminais fazem parte do corpo das defensas.

Figura 26 – Exemplo de terminal absorvedor de energia (TAE)



Fonte: CNT (2021) apud CNT (2019)

6.3.2.3 Sonorizadores e faixas de alerta

O sonorizador é um dispositivo físico de controle de tráfego instalado na superfície da pista, que causa um efeito sonoro-vibratório com a passagem de veículos que induzir os condutores a diminuírem a velocidade e alertar para alguma situação de perigo à frente (CNT, 2021).

Os sonorizadores estão normatizados para serem executados com material asfáltico, concreto ou material de demarcação viária, com largura igual à da pista, mantendo-se as condições de drenagem superficial, e, quando produzidos com material asfáltico ou concreto (CNT, 2021). A implantação deste recurso de segurança não é permitida em locais com edificações próximas e em trechos de curvas horizontais (CNT, 2021).

Figura 27 – Exemplo de sonorizadores



Fonte: CNT (2021) apud Brasil (2016)

Já as faixas de alerta equivalem a um conjunto de cortes rasos transversais, empregados próximos às faixas laterais ou à linha central da pista, em espaçamentos e profundidades são simétricos e constantes gerando um efeito sonoro e vibratório capaz de alertar os motoristas que transitarem sobre elas para que o condutor tenha a oportunidade de corrigir sua ação, voltando à trajetória segura e evitando a ocorrência de um acidente (CNT, 2021). As faixas de alerta empregadas sobre as laterais são as mais comuns enquanto as linhas instaladas sobre a área central da pista são mais raras; geralmente são implementadas em vias de mão dupla, com o objetivo de evitar colisão frontal entre veículos (CNT, 2021).

Figura 28 – Exemplo de Faixas de Alerta



Fonte: CNT (2021) apud LLC (2015)

6.3.2.4 Superelevação e superlargura

Conforme visto no capítulo anterior, a superelevação vai ser o acréscimo de inclinação transversal necessária nas curvas para veículos que auxilia o veículo a manter-se no alinhamento da via e dificulta a derrapagem, com os valores de superelevação variam entre 5 e 8% (CNT, 2021).

A superlargura vai ser um acréscimo na largura da faixa de rolamento com intuito de proporcionar um maior afastamento lateral entre os veículos que se cruzam ou circulam em um mesmo sentido, com objetivo de reduzir a incidência de colisões frontais e oblíquas (CNT, 2021). Quando a aplicada na largura do acostamento aumenta a possibilidade de o motorista conseguir retomar o controle do veículo caso ocorreram saídas de pista (CNT, 2021).

A superelevação e a superlargura são considerados dispositivos de segurança que tornam uma rodovia segura, sendo um dos componentes de segurança para “Rodovias que Perdoam”.

7 ESTUDO DE CASO

7.1 RODOVIA SP-088

A Rodovia Pedro Eroles SP 088, é uma rodovia do estado de São Paulo, Brasil que faz a ligação entre a rodovia Presidente Dutra e a rodovia dos Tamoios. Inaugurada em 1972, ela possui 97 quilômetros de extensão total e possui trechos que passam por regiões urbanas, rurais e até trechos de serra. Ela inicia-se no entroncamento com a Rodovia Presidente Dutra (BR-116), no município de Arujá, no qual este trecho até o município de Mogi das Cruzes é denominado como “Mogi-Dutra”.

Adicionalmente, a Rodovia SP-088 (Pedro Eroles) apresenta um ponto de interseção com a Rodovia Ayrton Senna (SP-70). No trecho que se estende de Arujá até a Rodovia Ayrton Senna, cobrindo uma distância de oito quilômetros, a pista é de configuração simples, com apenas uma faixa de rolamento em cada direção, embora haja alguns trechos que contam com uma terceira faixa.

Já o trecho entre a Rodovia Ayrton Senna e o município de Mogi das Cruzes passou por um processo de duplicação e modernização em 2004, resultando em uma rodovia com duas a três faixas de rolamento em cada sentido.

No trecho urbano do município de Mogi das Cruzes, a SP-088 começa na "Avenida Miguel Gemma," situada no bairro do Socorro, onde inicia-se a “Rodovia Professor Alfredo Rolim de Moura” conhecida popularmente neste trecho como "Rodovia Mogi-Salesópolis." Essa rodovia desempenha um papel significativo para a mobilidade na região do alto tietê, conectando os municípios de Mogi das Cruzes, Biritiba Mirim e Salesópolis, que fazem parte do cinturão verde, onde grande parte da produção de verduras, hortaliças e flores são destinadas a capital paulista.

Durante o período de 2008 a 2011, houve um programa de aprimoramento na estrada que conecta Mogi das Cruzes a Salesópolis. Este projeto abrangeu a renovação da superfície da rodovia, a construção de acostamentos e aprimoramentos na sinalização tanto horizontal quanto vertical. O Governo do Estado, por meio do Departamento de Estradas de Rodagem (DER), que é uma entidade ligada à Secretaria de Logística e Transportes, investiu um total de R\$ 133,1 milhões na restauração de 87,35 quilômetros desse trecho viário.

7.2 CLASSIFICAÇÃO DA RODOVIA

No estudo de caso, conduziu-se uma análise da porção da Rodovia SP-088 que abrange o trajeto entre os municípios de Mogi das Cruzes e Biritiba Mirim, compreendendo os quilômetros 57,400 a 70,00.

Conforme citado no referencial teórico, o Volume Diário Médio de Tráfego (VDM) é um parâmetro fundamental na avaliação e no projeto de rodovias, pois influencia significativamente suas características e o planejamento de infraestrutura viária. Este valor é utilizado para auxiliar na definição de classe de projeto e tipo de pista.

De acordo com as informações fornecidas pelo Departamento de Estradas e Rodagem (DER/SP, 2023), o trecho que conecta os municípios de Mogi das Cruzes e Biritiba Mirim, conforme tabela 18, apresenta um Volume Médio Diário de Tráfego (VDM) de 11.196 veículos, composto por 9.736 automóveis de passeio e 1460 automóveis comerciais.

Tabela 18 – Volume Diário Médio (VDM) Por Trecho da Rodovia SP 088

POSTO DE COLETA							VOLUME DIÁRIO MÉDIO DE TRÁFEGO (VDM)		
POSTO	LOCALIZAÇÃO						TIPO DE VEÍCULO		
	SP	DESCRIÇÃO DO TRECHO	Km	TRECHO		ADMINISTRAÇÃO TRECHO	2022		
				INÍCIO	FIM		PASSEIO	COMERCIAL	TOTAL
724	088	SP 056 (ARUJÁ) - SP 070 (AYRTON SENNA)	37,000	32,000	41,800	DER-DR.10	13.209	2.491	15.700
725	088	SP 070 (AYRTON SENNA) - AC. SUZANO	42,000	41,800	43,000	DER-DR.10	38.356	5.293	43.649
603	088	AC. MUN. SUZANO - PU MOGI DAS CRUZES	45,500	43,000	49,500	DER-DR.10	42.728	5.055	47.783
048	088	PU MOGI DAS CRUZES - BIRITIBA MIRIM	68,000	57,400	70,000	DER-DR.10	9.736	1.460	11.196
049	088	BIRITIBA MIRIM - SALESOPOLIS	84,000	70,000	94,000	DER-DR.10	4.183	662	4.845
597	088	PU SALESÓPOLIS - SALESÓPOLIS/PARAIBUNA	98,000	97,500	106,700	DER-DR.10	2.526	540	3.066
102	088	SALESÓPOLIS/PARAIBUNA - SP Núm.-Salto (PITAS)	128,000	106,700	135,000	DER-DR.10	896	175	1.071

Nota: Campos em negrito correspondem a dados projetados com base na evolução do tráfego.

O VDM apresentado representa a soma dos VDM's nos dois sentidos.

Fonte: DER/SP, (2023)

Com base no valor do Volume Diário Médio de Tráfego (VDM) do trecho que conecta os municípios de Mogi das Cruzes a Biritiba Mirim e seguindo os critérios do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999), o trecho de estudo foi classificado em Classe I. No entanto, observou-se que entre os quilômetros 57,400 e 63,000, o trecho apresenta uma pista dupla, enquanto entre os quilômetros 63,000 e 70,000, a pista é simples.

Assim, foi categorizado trecho inicial como Classe I-A e o segundo trecho como Classe I-B. Consequentemente, ao longo da análise de caso, realizou-se referência a eles como "Trecho 1" e "Trecho 2".

Além de categorizar a rodovia com base no valor do VDM, é essencial considerar o relevo da região para poder classificá-la como plana, ondulada ou montanhosa, uma vez que o relevo desempenha um papel importante na determinação da velocidade diretriz da estrada. De acordo com as figuras 39 e 41, os trechos 1 e 2 foram classificados como planos.

Figura 31 – Imagem via Satélite da Rodovia SP-088 entre os km 57,400 até 63,000



Fonte: Google Earth (2023)

Figura 32 – Imagem via Google Street View da Rodovia SP-088 – km 57,400 até 63,000



Fonte: Google Earth (2023)

Figura 33 – Imagem via Satélite da Rodovia SP-088 entre os km 63,000 até 70,000



Fonte: Google Earth (2023)

Figura 34 – Imagem via Google Street View da Rodovia SP-088 – km 63,000 até 70,000



Fonte: Google Earth (2023)

7.3 ELABORAÇÃO DOS ALINHAMENTOS HORIZONTAIS

Com base nos dados coletados e na classificação dos segmentos da rodovia em análise, a primeira etapa conduzida por meio do software AutoCAD Civil 3D foi habilitar a imagem de satélite na aba de geolocalização para localizar a área de estudo. Após a localização da região, procedeu-se com o desenho das tangentes no eixo da rodovia em questão.

Elaborado as tangentes, dá-se início ao traçado do alinhamento, no entanto, para isso, é imprescindível preencher previamente os parâmetros estabelecidos no Manual de Projetos de Rodovias Rurais (1999) para cada categoria de rodovia a ser avaliada. Esses critérios incluem a velocidade diretriz, o raio mínimo, a classe da rodovia, entre outros. Na tabela 19, verifica-se os critérios a serem preenchidos de acordo com a Classe I em função do relevo.

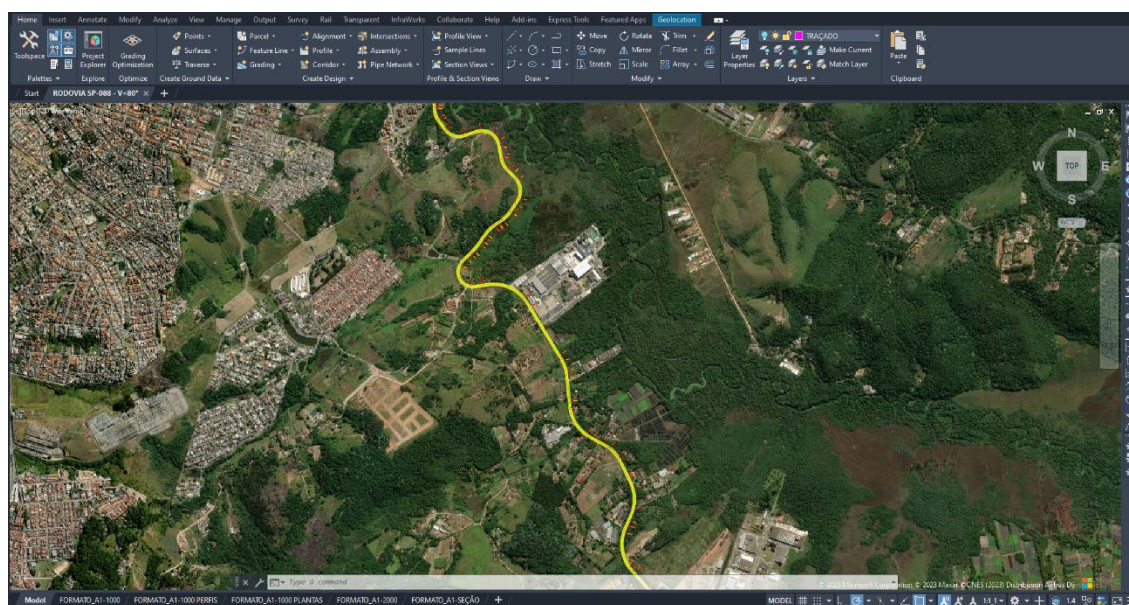
Tabela 19 – Características básicas do projeto geométrico - Rodovias Classe I

Características	Região		
	Plana	Ondulada	Montanhosa
Velocidade diretriz	100 km/h	80 km/h	60 km/h
Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem (Classe I-B)	680m	560m	420m
Raio mínimo de curva horizontal (e=10%)	345m	210m	115m
Largura da faixa de rolamento	3,60m	3,60m	3,60m
Largura do acostamento externo	3,00m	2,50m	2,50m
Largura do acostamento interno (Classe I-A):			
• pistas de 2 faixas	1,20 - 0,60m	1,00 - 0,60m	0,60 - 0,50m
• pistas de 3 faixas	3,00 - 2,50m	2,50 - 2,00m	2,50 - 2,00m
• pistas de 4 faixas	3,00m	3,00 - 2,50m	3,00 - 2,50m

Fonte: Adaptação nossa. DNER (1999)

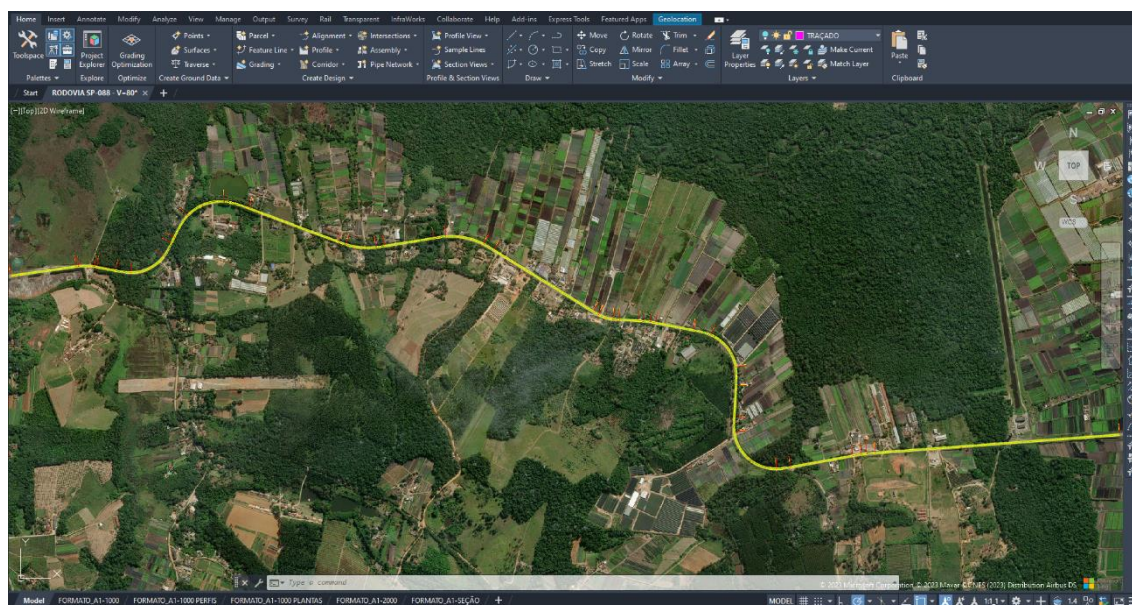
Ao examinar a relação entre a classe de projeto e as características do relevo nas regiões dos trechos 1 e 2, os dados apresentados na Tabela 19 revelam que, de acordo com esses critérios, a velocidade diretriz dos trechos estudados é de 100 km/h, com um raio mínimo de 345 metros e uma largura de 3,06 metros para cada faixa de rolamento. Após ao preenchimento de todos esses dados, procedeu-se com o traçado do alinhamento na rodovia existente dos trechos 1 e 2, conforme as figuras 42 e 43.

Figura 35 – Imagem via Satélite - AutoCAD Civil 3D – alinhamento do trecho 1



Fonte: Elaboração nossa. AutoCAD Civil 3D (2023)

Figura 36 – Imagem via Satélite - AutoCAD Civil 3D – alinhamento do trecho 2



Fonte: Elaboração nossa. AutoCAD Civil 3D (2023)

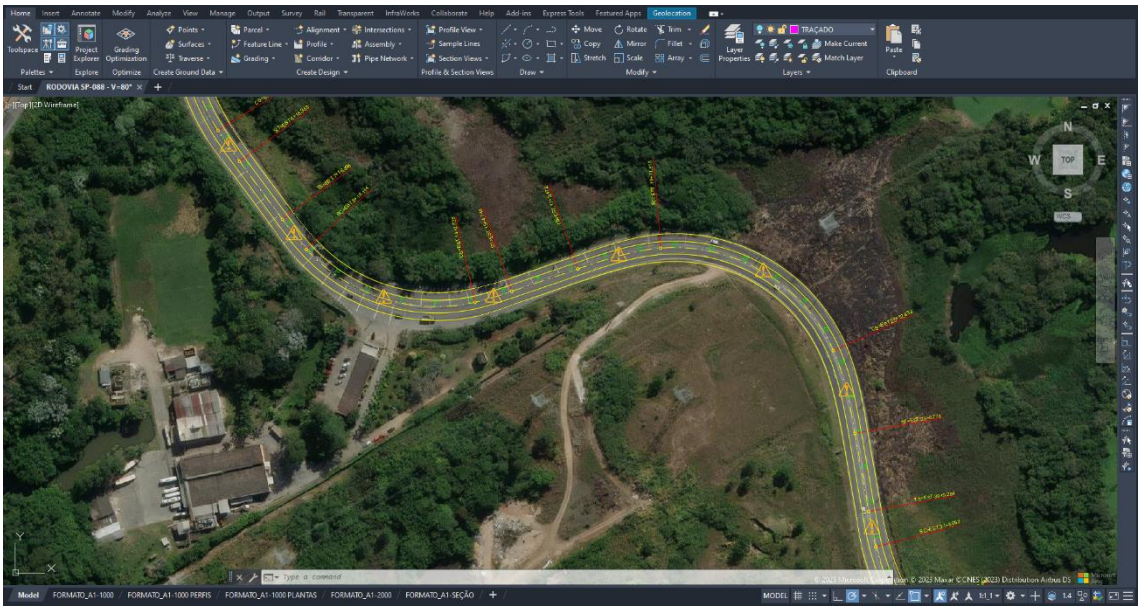
Após realizar o traçado, o software automaticamente identifica quais trechos do alinhamento não estão em conformidade com os critérios estabelecidos.

7.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste estudo de caso, para o traçado dos alinhamentos dos trechos 1 e 2, foram considerados suas classificações como regiões planas com uma velocidade diretriz de 100 km/h. Entretanto, após concluir o traçado, o software identificou que, das 15 curvas presentes no trecho 1, somente uma delas estava em conformidade com os critérios definidos pelo Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999) para raio mínimo, e no trecho 2, apenas 3 das 10 curvas cumpriram esses requisitos. Os resultados foram representados nos gráficos 10 e 11 em formato percentual, facilitando a sua visualização.

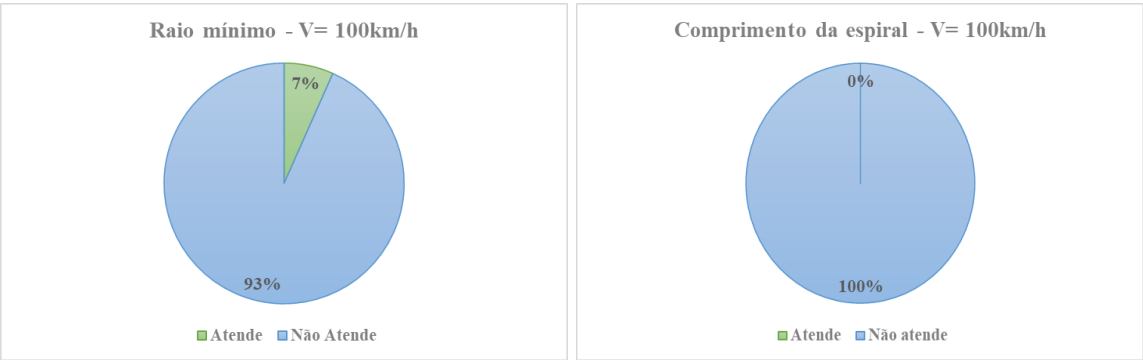
No que diz respeito às curvas de transição, os resultados foram ainda mais desafiadores. No Trecho 1, nenhuma das 15 curvas analisadas conseguiram atender aos critérios estabelecidos para o comprimento mínimo da espiral, e no Trecho 2, apenas 2 delas estiveram em conformidade.

Figura 37 – Imagem via Satélite - AutoCAD Civil 3D – inconformidades no alinhamento do trecho 1



Fonte: Elaboração nossa. AutoCAD Civil 3D (2023)

Gráfico 10 – Porcentagem das curvas do trecho 1 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = $V=100\text{km/h}$



Fonte: Elaboração nossa. (2023)

Gráfico 11 – Porcentagem das curvas do trecho 2 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = $V=100\text{km/h}$



Fonte: Elaboração nossa. (2023)

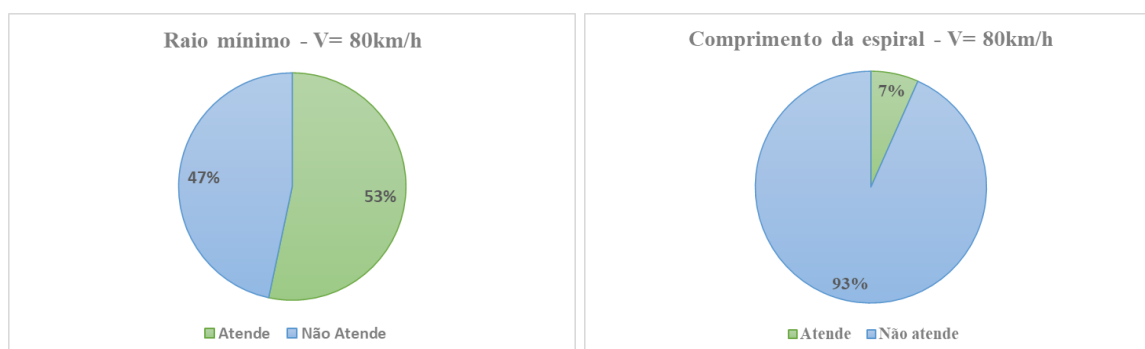
Diante desses resultados, foram conduzidas mais duas análises de alinhamento, considerando as velocidades estabelecidas nas vias existentes, a fim de verificar se essa abordagem reduziria o número de inconformidades. Para este novo estudo, foram adotados os critérios definidos pelo Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999), que estabelecem um raio mínimo de 210 metros para velocidades de 80 km/h em regiões onduladas e um raio mínimo de 115 metros para velocidades de 60 km/h em regiões montanhosas.

De acordo com os resultados apresentados nos gráficos 12, 13, 14 e 15, fica evidente que quanto mais baixa a velocidade da via utilizada, menor é o número de inadequações observadas nas curvas do estudo de caso com relação a raio mínimo e comprimento mínimo da espiral das curvas de transição.

Das 15 curvas examinadas no Trecho 1, quando uma velocidade de 80 km/h é adotada, 53% dessas curvas satisfazem o critério de raio mínimo, mas apenas 7% atendem ao requisito de comprimento da espiral. Quando o mesmo trecho é avaliado a uma velocidade de 60 km/h (geralmente usada em regiões com curvas no trecho existente), 73% atendem ao critério de raio mínimo, e 40% cumprem o requisito de comprimento da espiral.

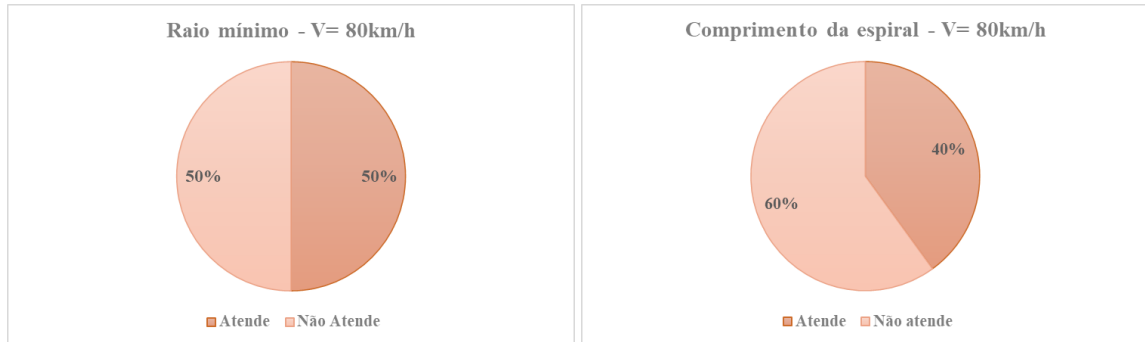
No que se refere ao trecho 2, entre as 10 curvas analisadas, quando a velocidade de 80 km/h é adotada, 50% delas estão de acordo com o critério de raio mínimo, e 40% satisfazem o requisito de comprimento da espiral. No entanto, quando esse mesmo trecho é avaliado a uma velocidade de 60 km/h, os resultados se tornam ainda mais favoráveis, com 100% das curvas atendendo ao critério de raio mínimo e 70% cumprindo o requisito de comprimento da espiral.

Gráfico 12 – Porcentagem das curvas do trecho 1 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = $V=80\text{km/h}$



Fonte: Elaboração nossa. (2023)

Gráfico 13 – Porcentagem das curvas do trecho 2 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = $V=80\text{km/h}$



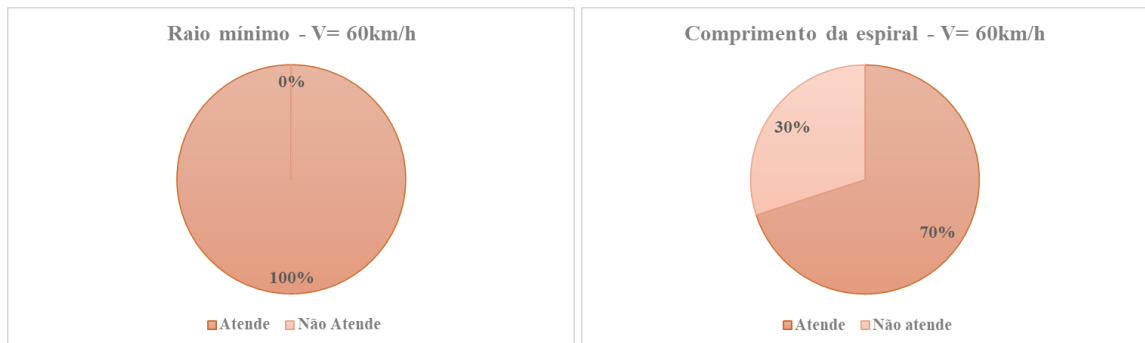
Fonte: Elaboração nossa. (2023)

Gráfico 14 – Porcentagem das curvas do trecho 1 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = $V=60\text{km/h}$



Fonte: Elaboração nossa. (2023)

Gráfico 15 – Porcentagem das curvas do trecho 2 que atendem aos critérios de raio mínimo e comprimento da espiral da curva circular, com velocidade diretriz = $V=60\text{km/h}$



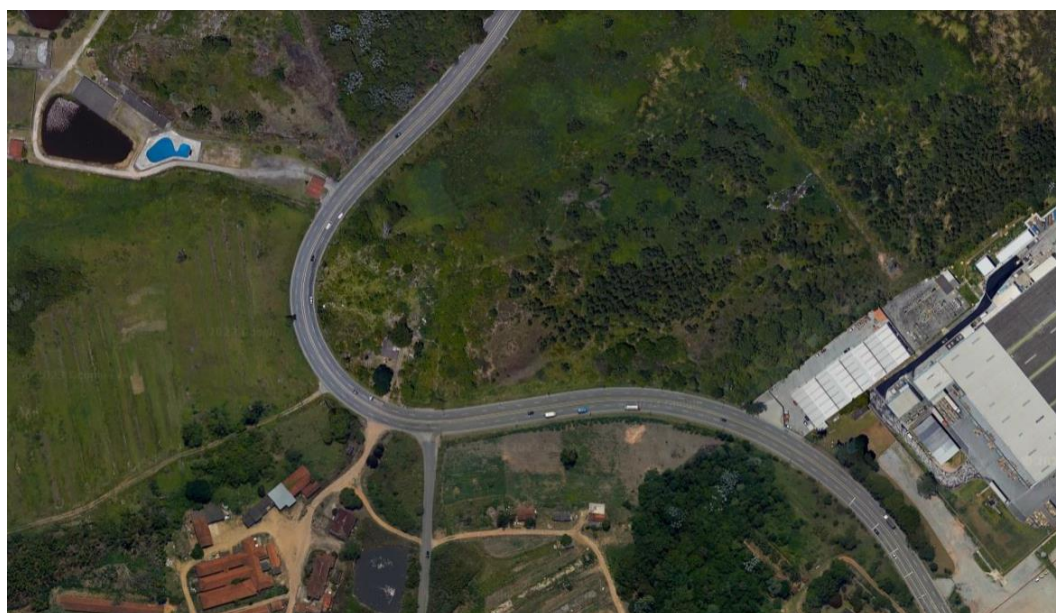
Fonte: Elaboração nossa. (2023)

7.5 INCONFORMIDADES DA RODOVIA

Ao analisar os alinhamentos do traçado da geometria da rodovia existente, é evidente que existem irregularidades em relação aos raios mínimos e ao comprimento da espiral das curvas de transição. Essas discrepâncias se agravam ainda mais quando se consideram velocidades mais elevadas.

No que diz respeito a análise do trecho 1, mesmo ao adotar a velocidade mais baixa permitida para essa categoria de rodovia, ainda se observa que, das 15 curvas analisadas, 4 delas continuam demonstrando inadequações. Entre essas, destaca-se uma curva de 180 graus que está em concordância com outra curva, resultando em uma situação sem visibilidade.

Figura 38 – Imagem via Satélite da Rodovia SP-088 – curva com inconformidades



Fonte: Google Earth (2023)

No que diz respeito aos acostamentos, o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999) estabelece que todas as vias devem incluir acostamentos, independentemente de serem pavimentados ou não. Além disso, a largura designada para os acostamentos deve ser claramente visível para os motoristas e deverá ser mantida uniformemente. Entretanto, conforme ilustrado na Figura 46, no Trecho 1, entre os quilômetros 58,000 ao 63,000, não há nenhum tipo de acostamento, o que representa outra irregularidade relacionada à rodovia.

Figura 39 – Imagem via Google Street View da Rodovia SP-088 – Pista sem acostamento

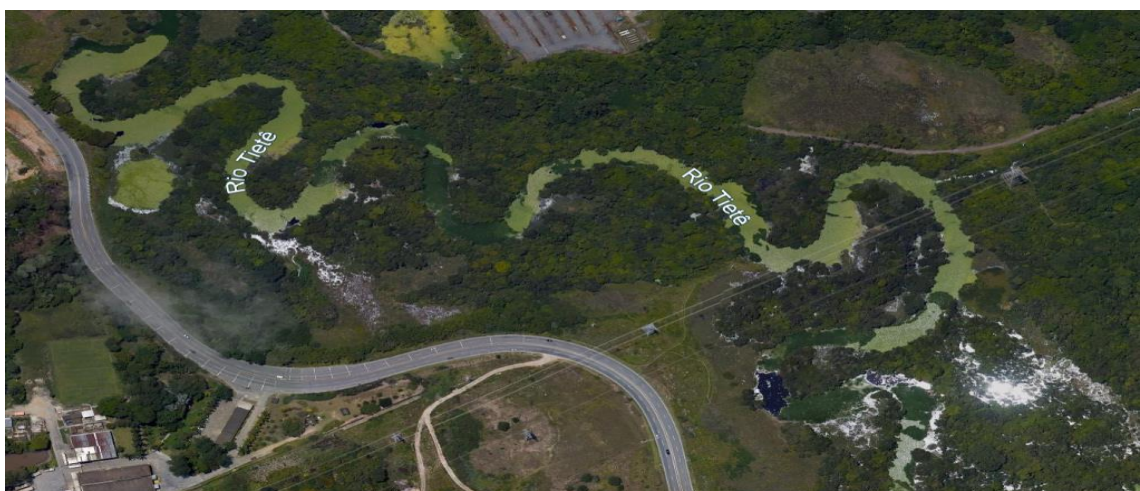


Fonte: Google Earth (2023)

Devido a essas irregularidades, buscou-se identificar possíveis fatores que poderiam ter contribuído para essas inadequações. Conforme mencionado na apresentação da rodovia, entre os anos de 2008 e 2011, esta mesma via recebeu investimentos do Governo em colaboração com o Departamento de Estradas e Rodagem (DER) para a renovação da superfície da rodovia, a construção de acostamentos e melhorias na sinalização, tanto horizontal quanto vertical.

Como pode ser observado na Figura 47, nota-se a proximidade do Rio Tietê em relação a rodovia. Portanto, seria necessária uma análise geológica dessa área para verificar a capacidade de sustentação do solo e composição, pois a natureza do solo pode ter influenciado o planejamento da rodovia, levando em consideração a busca por solos mais resistentes para a sua construção.

Figura 40 – Imagem via Satélite da Rodovia SP-088 - Rio Tietê próximo à rodovia



Fonte: Google Earth (2023)

A análise de todo o traçado geométrico da rodovia SP-088, no trecho entre os quilômetros 57,400 e 70,000, baseou-se nos parâmetros definidos pelo Manual de Projeto de Rodovias Rurais (DNER, 1999). Apesar da continuidade da vigência deste manual até os dias atuais, foi realizada buscas de manuais mais recentes que pudessem enriquecer a pesquisa. Nesse contexto, identificou-se um documento de notas técnicas de projeto geométrico em processo no ano de 2006, elaborado pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER). No entanto, após análise, constatou-se que esse documento adere aos mesmos critérios e diretrizes do Manual do DNER (1999) quanto da AASHTO.

7.6 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE ACIDENTES DA RODOVIA SP-088 NO TRECHO 57,400 ATÉ 70,000KM

Para o estudo de caso foi realizada a verificação dos Índices de Segurança Viária para avaliar e classificar a via em questão a partir dos dados históricos disponibilizados pelo DER/SP e pelo INFOSIGA SP.

7.6.1 Dados Gerais do Trecho

A tabela a seguir apresentam o VDM segundo DER/SP para os anos de 2019 até 2022. Após, verifica-se a tabela com os valores dos sinistros registrados para o trecho para o mesmo período.

Tabela 20 – Volume Diário Médio (VDM) da Rodovia SP 088 entre o KM 57,400 a 70,000.

POSTO DE COLETA					
POSTO	LOCALIZAÇÃO				
	SP	DESCRIÇÃO DO TRECHO	Km	TRECHO	
				INÍCIO	FIM
048	088	PU MOGI DAS CRUZES - BIRITIBA MIRIM	68,000	57,400	70,000
VOLUME DIÁRIO MÉDIO DE TRÁFEGO(VDM)					
TIPO DE VEÍCULO			2019	PASSEIO	9.540
				COMERCIAL	1.430
				TOTAL	10.970
			2020	PASSEIO	9.497
				COMERCIAL	1.424
				TOTAL	10.921
			2021	PASSEIO	9.618
				COMERCIAL	1.442

	2022	TOTAL	11.060
		PASSEIO	9.736
		COMERCIAL	1.460
		TOTAL	11.196

Nota: Campos em negrito correspondem a dados projetados com base na evolução do tráfego. O VDM apresentado representa a soma dos VDM's nos dois sentidos.

Fonte: Adaptação nossa. DER/SP (2023)

Tabela 21 – Registro de Sinistros Por Trecho da Rodovia SP 088 entre o KM 57,400 a 70,000.

Ano	Sinistros não fatais	Sinistros fatais	Óbitos	Sinistros totais
2019	14	5	5	24
2020	11	4	5	20
2021	16	8	9	33
2022	19	5	6	30
Total	60	22	25	107

Fonte: Adaptação nossa. INFOSIGA (2023)

A tabela com a estatísticas de sinistros conta com a tabulação dos sinistros não fatais, sinistros fatais (quando a morte ocorre após o socorro prestado em hospital) e o óbito (no local do sinistro) (INFOSIGA, 2023).

7.6.1.1 Cálculo dos Índices

Para fins de comparação, realizou-se o cálculo considerando o período de 2019 até 2022, representado por “total” e somente 2002, representado por “2002”. Substituindo os valores obtido nas fórmulas apresentadas anteriormente no item de Segurança Viária deste trabalho, foram obtidos os seguintes valores:

Exposição

Extensão do trecho: $70,000 - 57,400 = 12,600$ km

Exposição_{total} = $VDM_{\text{médio}} \times \text{extensão do segmento} \times \text{número de dias no período}$
 $= 11.036,75 \times 12,600 \times 365 \times 4$

$$= 203.032.053,00.$$

$$\begin{aligned}\text{Exposição}_{2022} &= \text{VDM}_{2022} \times \text{extensão do segmento} \times \text{número de dias no período} \\ &= 11.196,00 \times 12,600 \times 365 \times 1 \\ &= 51.490.404,00.\end{aligned}$$

Índice de Acidentes (IA)

$$I_{A_{total}} = \frac{N_A}{\text{Exposição}} \times 10^6 = \frac{107}{203.032.053,00} \times 10^6 = 0,53$$

$$I_{A_{2022}} = \frac{N_A}{\text{Exposição}} \times 10^6 = \frac{30}{51.490.404,00} \times 10^6 = 0,58$$

Índice de Vítimas (IV)

$$I_{V_{total}} = \frac{N_V}{\text{Exposição}} \times 10^6 = \frac{60}{203.032.053,00} \times 10^6 = 0,30$$

$$I_{V_{2022}} = \frac{N_V}{\text{Exposição}} \times 10^6 = \frac{19}{51.490.404,00} \times 10^6 = 0,37$$

Índice de Vítimas Fatais (IVF)

$$I_{VF_{total}} = \frac{N_{VF}}{\text{Exposição}} \times 10^6 = \frac{22}{203.032.053,00} \times 10^6 = 0,11$$

$$I_{VF_{2022}} = \frac{N_{VF}}{\text{Exposição}} \times 10^6 = \frac{5}{51.490.404,00} \times 10^6 = 0,11$$

Índice de Mortos (IM)

$$I_{M_{total}} = \frac{N_M}{\text{Exposição}} \times 10^6 = \frac{25}{203.032.053,00} \times 10^6 = 0,12$$

$$I_{M_{2022}} = \frac{N_M}{\text{Exposição}} \times 10^6 = \frac{6}{51.490.404,00} \times 10^6 = 0,12$$

Unidade Padrão de Severidade (UPS)

$$UPS_{total} = (0,53 \times 1) + (0,30 \times 5) + ((0,11 + 0,12) \times 13) = 495,00$$

$$UPS_{2022} = (0,58 \times 1) + (0,37 \times 5) + ((0,11 + 0,12) \times 13) = 122,00$$

Índice Ponderado de Sinistros (IP)

$$I_{P_{total}} = \frac{495,00 \times 10^6}{203.032.053,00} = 2,44$$

$$I_{P_{2022}} = \frac{122,00 \times 10^6}{51.490.404,00} = 2,37$$

Índice Crítico (IC)

$$I_{C_{total}} = 495,00 \times 1,645 \times \sqrt{\frac{2,44}{203.032.053,00}} - \frac{0,5}{203.032.053,00} = 2,17 \times 10^{-8}$$

$$I_{C_{2022}} = 122,00 \times 1,645 \times \sqrt{\frac{2,37}{51.490.404,00}} - \frac{0,5}{51.490.404,00} = 8,00 \times 10^{-8}$$

Análise Final

Seguindo os parâmetros de segurança viária do Manual de Segurança Viária (2023), se o Índice Ponderado de Acidentes for maior do que o Índice Crítico ($I_p > I_c$), o seguimento é considerado crítico. Desta forma, analisando os valores para o período total foram $2,44 > 2,17 \times 10^{-8}$ e $2,37 > 8,00 \times 10^{-8}$, de forma que se pode concluir que o trecho é historicamente crítico.

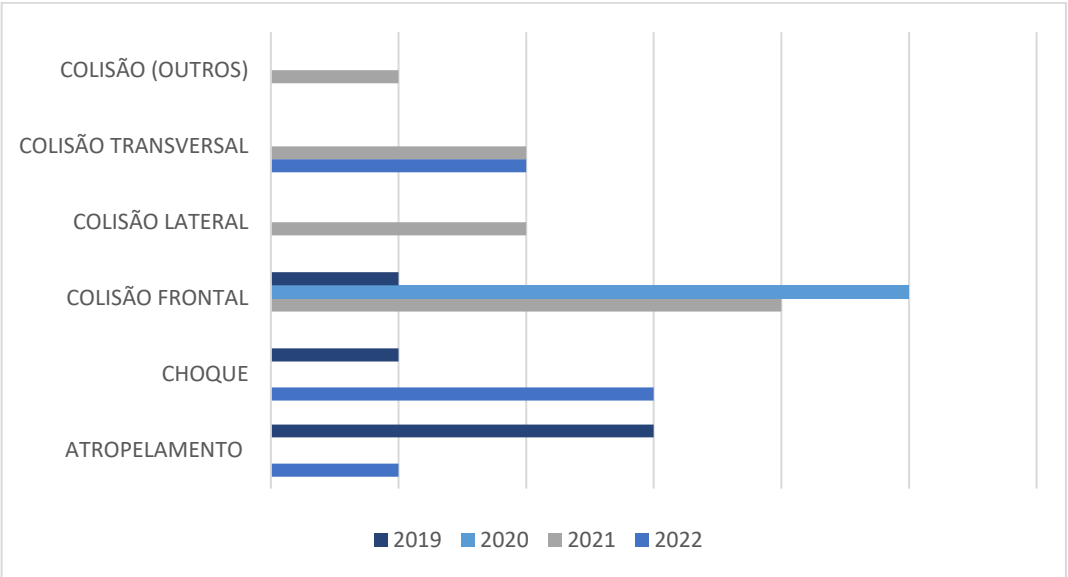
7.6.1.2 Demais Análises do Trecho

Com os dados obtidos disponibilizados pelo INFOSIGA SP (2023), foi realizada a tabulação dos sinistros não fatais e o óbito para definir quais as principais causas de sinistros no trecho de estudo e os veículos envolvidos nesses sinistros para o período de 2019 até 2022. Não foram realizados a mesma análise para dados de acidentes fatais pois estes dados estão indisponíveis para consultas.

Os dois primeiros gráficos estão relacionados a causa dos sinistros, conforme foram categorizados na ocorrência. É possível verificar que tanto que casos em que há óbitos e acidentes sem vítimas fatais, o principal fator de risco no trecho é em função de colisão e choque. Existe uma dificuldade em interpretar os tipos de colisão que levaram a ocorrência de

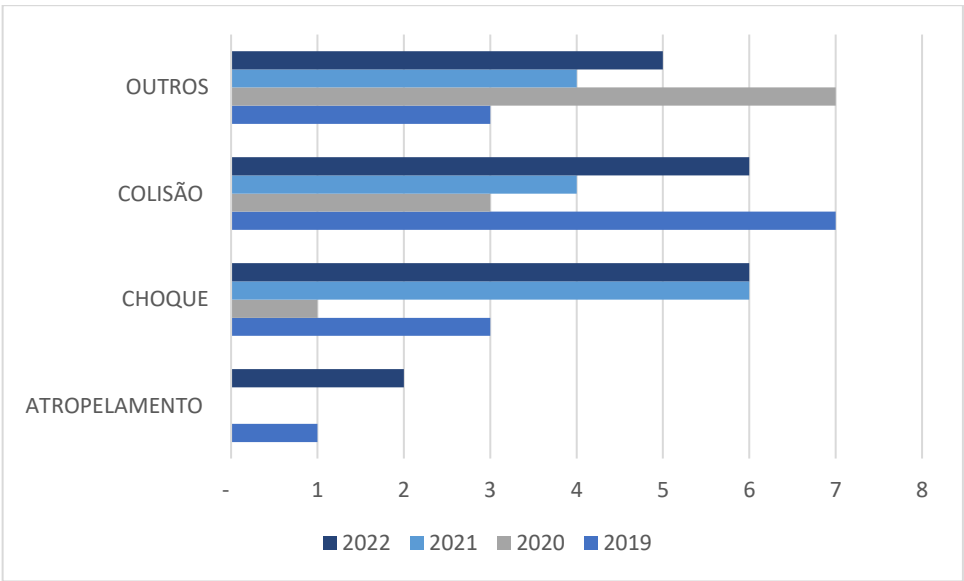
acidentes sem vítimas fatais pois os dados de registro do sinistro constam apenas como “colisão”.

Gráfico 16 – Causa de Sinistros em que há óbitos na Rodovia SP 088 entre os km 57,400 a 70,000 de 2019 até 2022



Fonte: Elaboração nossa. INFOSIGA SP (2023)

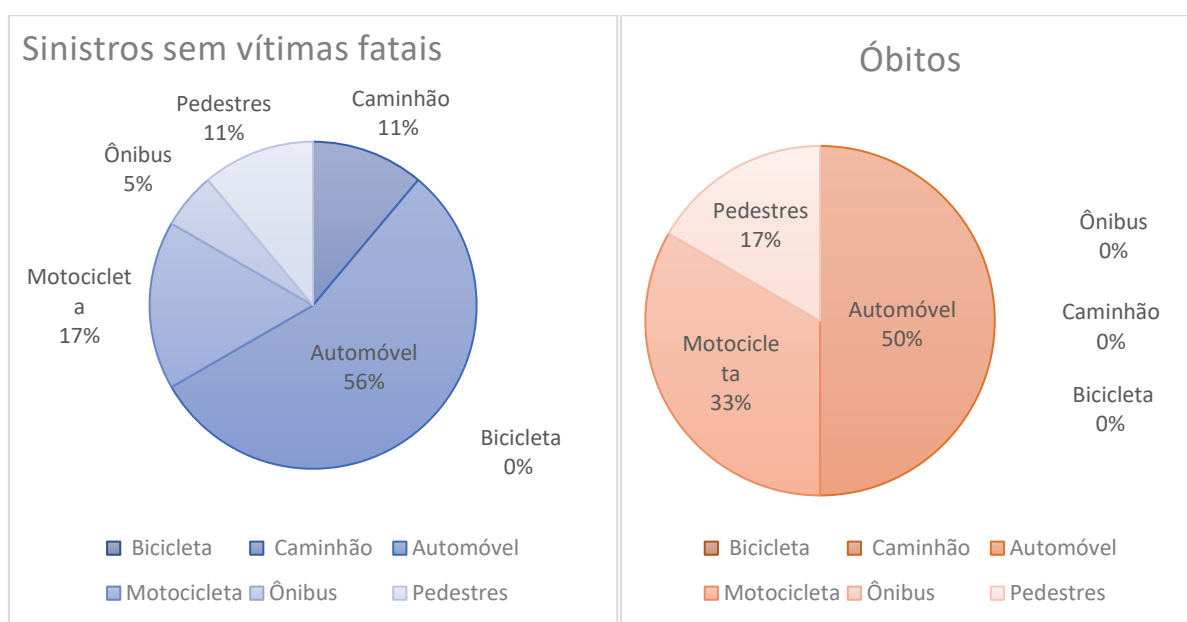
Gráfico 17 – Causa de Sinistros quando não há sinistros fatais na Rodovia SP 088 entre os km 57,400 a 70,000 de 2019 até 2022



Fonte: Elaboração nossa. INFOSIGA SP (2023)

O próximo gráfico diz respeito ao tipo de veículo envolvido e novamente se teve dificuldades no tratamento dos dados em função da falta da padronização dos registros: nos sinistros sem vítimas fatais, considera-se a ocorrência entre mais de um veículo quanto nos casos de óbito, considera-se apenas o veículo em que a vítima entrou em óbito.

Gráfico 18 – Tipos de Veículos Envolvidos em Sinistros na Rodovia SP 088 entre os km 57,400 a 70,000 de 2019 até 2022



Fonte: Elaboração nossa. INFOSIGA SP (2023)

5.1.1.5 DIAGNÓSTICO DO TRECHO

A análise do trecho do estudo de caso foi conduzida de duas formas distintas: inicialmente, inseriu-se o trecho no software Autocad Civil 3D, parametrizou-se conforme as diretrizes do DNIT e foi delineada a geometria da rodovia. Em uma segunda abordagem, foi empregado o processamento dos dados abertos fornecidos pelo INFOSIGA SP para o mesmo trecho, examinando os indicadores relacionados à segurança viária.

Nessa primeira etapa do trabalho, observou-se a presença de irregularidades relacionadas aos raios mínimos e ao comprimento das espirais nas curvas de transição, além da ausência de acostamentos ao longo do trecho entre os quilômetros 58,000 e 63,000. Isso contraria as diretrizes do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999), que enfatiza a inclusão de acostamentos em todas as rodovias, independentemente de serem pavimentadas ou não.

Do ponto de vista dos índices de segurança viária, foi observado que dentro dos parâmetros do DER/SP, a rodovia apresentou um fator crítico de sinistro em sua extensão em virtude das estatísticas de vítimas elevado no período de análise 2019 até 2022 ou mesmo quando analisado somente o ano de 2022. Os acidentes de vítimas fatais, não fatais e óbitos apresentam um comportamento constante ao longo do período de estudo, e dentro das características observadas, as principais causas dos acidentes na região foram colisões frontal e transversal, seguido de choques. Dentre os veículos envolvidos nesses acidentes, quando ocorreu óbito, as principais vítimas foram pedestres, motociclistas e por últimos automóveis, enquanto em acidentes com vítimas não fatais, as principais vítimas foram automóveis, motociclistas, pedestres, caminhões e ônibus.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que os acidentes de trânsito representam uma das maiores causas de mortes no mundo. O Brasil, dentro do contexto mundial, é o oitavo país no ranking dos países com maior número de mortes e feridos (com sequelas graves definitivas que impedem uma vida normal) em acidentes de trânsito. As características de uma infraestrutura viária podem gerar circunstâncias que influenciar os condutores a cometerem erros ou então levá-lo a evitar um sinistro quando amparado corretamente por um projeto geométrico ou dispositivos de segurança viária – o conceito fundamental de segurança viária de “Rodovias que perdoam”.

O presente trabalho analisou a relação entre a geometria das rodovias e os acidentes, utilizando métodos analíticos e estatísticos para analisar dados e informações relevantes através do estudo de caso da Rodovia Estadual SP-088 entre os trechos 57,400 até 70,000. Como objetivos secundários, identificou-se os fatores viários que influenciam na ocorrência de sinistros em função da geometria da via, apresentou-se os dados qualitativos do trecho entre os km 57,400 a 70,000 da Rodovia Estadual SP-088 com histórico de acidentes e caracterizou-se o trecho de acordo com os parâmetros de segurança viária.

O estudo de caso foi Rodovia Pedro Eroles SP-088, rodovia situada no estado de São Paulo, Brasil, que conecta a rodovia Presidente Dutra à rodovia dos Tamoios. O trecho de estudo está situado entre os kms 57,400 a 70,00 desta rodovia, que conecta Mogi das Cruzes à Biritiba Mirim, importante para produtores agrícolas para a capital paulista. Entre 2008 e 2011, um programa de aprimoramento investiu R\$ 133,1 milhões na restauração e melhorias na sinalização da rodovia, promovido pelo Governo do Estado por meio do (DER/SP). Entretanto, o trecho apresenta um elevado número de acidentes, de acordo com o mapa de calor do INFOSIGA SP (2023).

No que tange ao projeto geométrico, identificou-se irregularidades nos raios mínimos e no comprimento das espirais nas curvas de transição, juntamente com a falta de acostamentos ao longo do trecho entre os quilômetros 58,000 e 63,000. Essas observações contrapõem as orientações do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999), que destaca a importância da inclusão de acostamentos em todas as rodovias, independentemente de serem pavimentadas ou não.

Os índices de segurança viária revelaram que, de acordo com os parâmetros do DER/SP, a rodovia apresenta um fator crítico de sinistros, com estatísticas de vítimas elevadas no período de 2019 a 2022, especialmente em 2022. Os acidentes fatais, não fatais e óbitos

mantiveram um padrão consistente ao longo do estudo, destacando as colisões frontal e transversal, seguidas por choques, como as principais causas na região. Em acidentes fatais, as principais vítimas foram pedestres, motociclistas e, em última instância, automóveis, enquanto em acidentes não fatais, automóveis, motociclistas, pedestres, caminhões e ônibus foram os principais envolvidos.

Ao verificar problemas na geometria do trecho de estudo, comprovou-se através das análises entre as estatísticas dos sinistros e projeto geométrico a confirmação de nossa hipótese inicial de que um fator viário pode servir como um elemento importante na redução de acidentes em uma rodovia. Considerando as irregularidades identificadas no traçado da geometria da SP-088, especialmente entre os quilômetros 57,400 e 70,000, diversas recomendações surgem como diretrizes para futuras pesquisas com o objetivo de aprimorar a segurança viária. Inicialmente, seria vantajoso realizar uma investigação mais abrangente sobre as características do solo na área em estudo, avaliando a capacidade de sustentação do solo como um fator crucial no planejamento e construção de estradas. Além disso, investigações mais detalhadas sobre a falta de acostamentos entre os quilômetros 58,000 e 63,000 podem ser conduzidas, buscando entender as implicações específicas dessa ausência na segurança viária local.

Dentro desta perspectiva, e adotando os princípios de “Rodovias que Perdoam”, conforme o quadro 3, que relaciona com os tipos de acidentes e os dispositivos de segurança adequados a via com os acidentes de colisão e choque, a recomendação é que o trecho em questão deveria possuir como itens de segurança como: superlargura e superelevação, zona livre, sonorizadores e faixas de alerta, contenção central e terminais de absorção de energia (TAE). Tanto a análise da geometria da rodovia quanto a avaliação dos índices de segurança viária destacam que a principal fonte de insegurança na rodovia reside na falta de acostamento ou superlargura, seguido pela ausência de demais dispositivos de segurança viária, como sonorizadores e faixa de alerta e zona livre.

Recomenda-se a implementação criteriosa de elementos de segurança, considerando a natureza da rodovia, com destaque para os trechos com pista dupla, por não possuírem acostamento. Já em relação tanto a análise da geometria da rodovia quanto a avaliação dos índices de segurança viária sugerem-se como diretrizes futuras a realização do acostamento ou superlargura, e a utilização de demais dispositivos de segurança viária, como sonorizadores e faixa de alerta e zona livre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10697: Pesquisas de sinistro de trânsito** - Terminologia. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15486: Segurança no tráfego — Dispositivos de contenção viária — Diretrizes de projeto e ensaios de impacto**. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. **Plano de Dados Abertos**. Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos>. Acesso em: 22 fev. 2023

BAZANI, ADAMO. **A História das leis de trânsito e o transporte público auxiliando na diminuição dos acidentes**. Diário do Transporte, 2011. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2011/05/08/a-historia-das-leis-de-transito-e-o-transporte-publico-auxiliando-na-diminuicao-dos-acidentes/> Acesso em: 27 mai. 2023.

CARMO, CÁSSIO LEANDRO DO. **Segurança viária em trechos urbanos de rodovias**/CÁSSIO LEANDRO DO CARMO. Tese (doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos. São Carlos, 2019.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Anuário CNT do Transporte**, 2022. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/>. Acesso em: 04 mai. 2023.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos acidentes rodoviários**, 2022. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-acidente>. Acesso em: 15 mai. 2023.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Rodovias que perdoam. Transporte em foco**, 2021. Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/5d10ad26-e26e-4979-9092-024503d49dfc.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2023.

DER/SP – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DE SÃO PAULO. **Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais**. 2012. 226f. Disponível em: http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/manuais/Manual_Basico_de_Estradas_e_Rodovias_Vicinais-Volume_I.pdf Acesso em: 07 mai. 2023.

DETRAN SP – DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DE SÃO PAULO. **Providências após um acidente de trânsito**. 2013. Disponível em: <https://www.detran.sp.gov.br/wps/portal/portaldetran/cidadao/oquefazerquando/d5a9632d-a955-4747-9858-5c6c1f9b1d49/> . Acesso em: 07 mai. 2023.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. 1999. 195p. IPR, Rio de Janeiro.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Planilhas SNV** – Agosto de 2023. Disponível em [https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAiNr?path=%2FSNV%20Planilhas%20\(2011-Atual\)%20\(XLS\)](https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAiNr?path=%2FSNV%20Planilhas%20(2011-Atual)%20(XLS)) . Acesso em: 02 out. 2023.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Terminologias rodoviárias usualmente utilizadas**. 2007. 17p. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/download/rodovias/rodovias-federais/terminologias-rodoviaras/terminologias-rodoviaras-versao-11.1.pdf> . Acesso em: 02 out. 2023.

ESTADÃO. **25 anos do CTB: conheça a história e as principais atualizações**. ESTADÃO, 23 set. 2022. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/25-anos-do-ctb-conheca-a-historia-e-as-principais-atualizacoes/> Acesso em: 29 mai. 2023.

FERRAZ, ANTÔNIO CLÓVIS PINTO “Coca” et al. **Segurança Viária**. São Paulo, SP: Suprema Gráfica e Editora. 2012.

GOOGLE MAPS. **Rodovia SP 088**. [S.l.], c202q. Disponível em: <https://goo.gl/maps/41gNoYgHNKWgJhVX6>. Acesso em: 05 out. 2023.

SÃO PAULO, Governo do Estado de São Paulo, INFOSIGA SP. **INFOMAPA**. Disponível em: <http://painelderesultados.INFOSIGA.sp.gov.br/mapa/>. Acesso em: 29 out. 2023

MALTA, DEBORAH CARVALHO et al. **Mortalidade de adolescentes e adultos jovens brasileiros entre 1990 e 2019: uma análise do estudo Carga Global de Doença**. Ciência & Saúde Coletiva [online]. v. 26, n. 09, pp. 4069-4086. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1413-81232021269.12122021>>. Acesso em: 27 mai. 2023.

MEYER, L. **Estudo inédito avalia Década de Ação pela Segurança no Trânsito**, da ONU. Terra. Terra. 13 abr. 2023. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/estudo-inedito-avalia-decada-de-acao-pela-seguranca-no-transito-da-onu,1b960cd22fe4b3266606300168c661151hh3ciqc.html> . Acesso em: 28 out. 23.

MINAYO, M C S. **O desafio do conhecimento: Pesquisa qualitativa em saúde**. 10 ed. São Paulo: Hucitec, 2007.

MONTEIRO, T. V. **Principais Causas de Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais do Brasil**. 2012. 43f. Monografia (Especialização em Cidadania, Direitos Humanos e Segurança Pública) – Programa de Pós-graduação em Cidadania, Direitos Humanos e Segurança Pública da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/37202/1/2012_tcc_tvmonteiro.pdf . Acesso em: 27 mar. 2023

MOREIRA, ARDILHES. **Frota de veículos cresce 119% em dez anos no Brasil, aponta Denatran**. G1, 13 fev. 2011. Disponível em:

<https://g1.globo.com/carros/noticia/2011/02/frota-de-veiculos-cresce-119-em-dez-anos-no-brasil-aponta-denatran.html> Acesso em: 27 mai. 2023.

NODARI, C. T. **Método de Avaliação da Segurança Potencial de Segmentos Rodoviários Totais de Pista Simples**. 2003. 221f. Dissertação (Tese em Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3675/000391199.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>. Acesso em: 28 mar. 2023

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **World Health Organization**. Disponível em: Página da Web: <https://www.who.int/news-room/detail/07-12-2018-new-who-report-highlights-insufficient-progress-to-tackle-lack-of-safety-on-the-world's-roads> Acesso em: 23 mai. 2023.

PONTES FILHO, G. **Estradas de Rodagem: Projeto Geométrico**. 2 ed. São Carlos: Editora Bidim, 1998.

QUINTANILHA, S. R. **O Automóvel como signo: o fetichismo da mercadoria e o desejo no jornalismo automotivo**. Dissertação (Tese de Doutorado em Ciências da Comunicação – Programa de Pós-graduação da Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo). São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/27/27164/tde-30062023-154644/pt-br.php> . Acesso em: 09 out. 2023.

SIMÕES, F. **SEGTRANS - Sistema de Gestão da Segurança no Trânsito Urbano**. Dissertação (Tese de Doutorado em Transportes – Programa de Pós-graduação da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo). São Carlos, 2001. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-09052016-112557/publico/Tese_Simoes_FernandaA.pdf . Acesso em: 23 mai. 2023.

SÃO PAULO, Secretaria de Logística e Transportes. **Alckmin inaugura obras de recuperação e melhorias da SP-088**. Portal do Governo, 24 mai. 2011. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/alckmin-inaugura-obras-de-recuperacao-e-melhorias-da-sp-088-1/>. Acesso em: 27 out. 2023

PIMENTA, CARLOS R. T.; OLIVEIRA, MÁRCIO P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. 2 ed. São Carlos: Editora Rima 2004.

DER/SP – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DE SÃO PAULO. **Notas Técnicas de Projeto Geométrico**. 2006. Disponível em: http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/NT-DE-F00-001_A.pdf. Acesso em: 15 out. 2023.

APÊNDICE A - ANÁLISE DAS CURVAS HORIZONTAIS DO TRECHO 1 COM VELOCIDADE IGUAL A 100KM/H, PELOS CRITÉRIOS DE RAIOS MÍNIMO E ESPIRAL MÍNIMA

CURVAS HORIZONTAIS COM TRANSIÇÃO					
Estaca Inicial	Estaca Final	Comprimento da espiral (m)	Espiral mínima (m)	Comprimento do Raio (m)	Raio mínimo (m)
0+17,019	1+18,373	21,353	82	-	-
1+18,373	4+14,590	56,217	-	130	345
4+14,590	5+15,943	21,353	82	-	-
7+16,495	8+18,114	21,619	82	-	-
8+18,114	14+2,525	104,411	-	100	345
14+2,525	15+4,144	21,619	82	-	-
17+3,472	19+11,815	48,343	82	-	-
19+11,815	25+12,433	120,617	-	98	345
25+12,433	28+0,776	48,343	82	-	-
30+5,284	31+5,667	20,382	82	-	-
31+5,667	34+3,662	57,996	-	130	345
34+3,662	35+4,044	20,382	82	-	-
36+17,966	38+19,397	41,432	82	-	-
38+19,397	44+3,138	103,741	-	107	345
44+3,138	46+4,570	41,432	82	-	-
47+10,406	48+19,949	29,543	82	-	-
48+19,949	52+3,002	63,054	-	230	345
52+3,002	53+12,545	29,543	82	-	-
53+18,474	55+1,183	22,708	82	-	-
55+1,183	58+13,716	72,533	-	250	345
58+13,716	59+16,424	22,708	82	-	-
60+19,685	62+1,436	21,752	82	-	-
62+1,436	64+15,606	54,169	-	400	345
64+15,606	65+17,358	21,752	82	-	-

67+11,392	70+11,036	59,645	82	-	-
70+11,036	78+5,105	154,069	-	85	345
78+5,105	81+4,750	59,645	82	-	-
82+4,790	85+7,337	62,547	82	-	-
85+7,337	95+3,500	196,164	-	220	345
95+3,500	98+6,047	62,547	82	-	-
114+14,973	117+0,800	45,827	82	-	-
117+0,800	119+15,847	55,047	-	225	345
119+15,847	122+1,674	45,827	82	-	-
128+15,462	131+2,747	47,285	82	-	-
131+2,747	139+18,121	175,374	-	230	345
139+18,121	142+5,406	47,285	82	-	-
145+7,483	147+16,649	49,166	82	-	-
147+16,649	150+17,252	60,603	-	180	345
150+17,252	153+6,418	49,166	82	-	-
157+7,973	161+6,472	78,499	82	-	-
161+6,472	166+18,985	112,513	-	220	345
166+18,985	170+17,484	78,499	82	-	-
172+5,863	174+12,714	46,851	82	-	-
174+12,714	185+1,218	208,504	-	225	345
185+1,218	187+8,069	46,851	82	-	-

Nota: Campos em vermelho não atendem aos critérios mínimos.

Fonte: Elaboração nossa (2023)

APÊNDICE B - ANÁLISE DAS CURVAS HORIZONTAIS DO TRECHO 2 COM VELOCIDADE IGUAL A 100KM/H, PELOS CRITÉRIOS DE RAIOS MÍNIMO E ESPIRAL MÍNIMA

CURVAS HORIZONTAIS COM TRANSIÇÃO					
Estaca Inicial	Estaca Final	Comprimento da espiral (m)	Espiral mínima (m)	Comprimento do Raio (m)	Raio mínimo (m)
15+5,443	15+17,018	11,575	82	-	-
15+17,018	19+10,250	73,232	-	260	345
19+10,250	20+1,825	11,575	82	-	-
24+11,899	28+5,032	73,134	82	-	-
28+5,032	36+18,820	173,787	-	190	345
36+18,820	40+11,954	73,134	82	-	-
42+0,334	47+19,868	119,534	82	-	-
47+19,868	57+1,997	182,129	-	205	345
57+1,997	63+1,531	119,534	82	-	-
85+3,810	87+4,991	41,181	82	-	-
87+4,991	94+5,558	140,567	-	350	345
94+5,558	96+6,739	41,181	82	-	-
107+18,862	110+13,147	54,285	82	-	-
110+13,147	119+14,878	181,731	-	330	345
119+14,878	122+9,163	54,285	82	-	-
149+9,971	151+0,237	30,266	82	-	-
151+0,237	154+9,928	69,691	-	200	345
154+9,928	156+0,194	30,266	82	-	-
160+7,886	161+13,525	25,639	82	-	-
161+13,525	163+3,039	29,514	-	400	345
163+3,039	164+8,678	25,639	82	-	-
173+7,584	177+12,589	85,005	82	-	-
177+12,589	187+7,299	194,709	-	195	345
187+7,299	191+12,304	85,005	82	-	-

199+0,553	202+8,884	68,331	82	-	-
202+8,884	216+13,151	284,267	-	195	345
216+13,151	220+1,482	68,331	82	-	-
234+13,518	236+13,357	39,839	65	-	-
236+13,357	237+18,418	25,061	-	600	345
237+18,418	239+18,257	39,839	65	-	-

Nota: Campos em vermelho não atendem aos critérios mínimos.

Fonte: Elaboração nossa (2023)

APÊNDICE C - ANÁLISE DAS CURVAS HORIZONTAIS DO TRECHO 1 COM VELOCIDADE IGUAL A 80KM/H, PELOS CRITÉRIOS DE RAIOS MÍNIMO E ESPIRAL MÍNIMA

CURVAS HORIZONTAIS COM TRANSIÇÃO					
Estaca Inicial	Estaca Final	Comprimento da espiral (m)	Espiral mínima (m)	Comprimento do Raio (m)	Raio mínimo (m)
0+17,019	1+18,373	21,353	72	-	-
1+18,373	4+14,590	56,217	-	130	210
4+14,590	5+15,943	21,353	72	-	-
7+16,495	8+18,114	21,619	72	-	-
8+18,114	14+2,525	104,411	-	100	210
14+2,525	15+4,144	21,619	72	-	-
17+3,472	19+11,815	48,343	72	-	-
19+11,815	25+12,433	120,617	-	98	210
25+12,433	28+0,776	48,343	72	-	-
30+5,284	31+5,667	20,382	72	-	-
31+5,667	34+3,662	57,996	-	130	210
34+3,662	35+4,044	20,382	72	-	-
36+17,966	38+19,397	41,432	72	-	-
38+19,397	44+3,138	103,741	-	107	210
44+3,138	46+4,570	41,432	72	-	-
47+10,406	48+19,949	29,543	72	-	-
48+19,949	52+3,002	63,054	-	230	210
52+3,002	53+12,545	29,543	72	-	-
53+18,474	55+1,183	22,708	71	-	-
55+1,183	58+13,716	72,533	-	250	210
58+13,716	59+16,424	22,708	71	-	-
60+19,685	62+1,436	21,752	55	-	-
62+1,436	64+15,606	54,169	-	400	210
64+15,606	65+17,358	21,752	55	-	-

67+11,392	70+11,036	59,645	72	-	-
70+11,036	78+5,105	154,069	-	85	210
78+5,105	81+4,750	59,645	72	-	-
82+4,790	85+7,337	62,547	72	-	-
85+7,337	95+3,500	196,164	-	220	210
95+3,500	98+6,047	62,547	72	-	-
114+14,973	117+0,800	45,827	72	-	-
117+0,800	119+15,847	55,047	-	225	210
119+15,847	122+1,674	45,827	72	-	-
128+15,462	131+2,747	47,285	72	-	-
131+2,747	139+18,121	175,374	-	230	210
139+18,121	142+5,406	47,285	72	-	-
145+7,483	147+16,649	49,166	72	-	-
147+16,649	150+17,252	60,603	-	180	210
150+17,252	153+6,418	49,166	72	-	-
157+7,973	161+6,472	78,499	72	-	-
161+6,472	166+18,985	112,513	-	220	210
166+18,985	170+17,484	78,499	72	-	-
172+5,863	174+12,714	46,851	72	-	-
174+12,714	185+1,218	208,504	-	225	210
185+1,218	187+8,069	46,851	72	-	-

Nota: Campos em vermelho não atendem aos critérios mínimos.

Fonte: Elaboração nossa (2023)

APÊNDICE D - ANÁLISE DAS CURVAS HORIZONTAIS DO TRECHO 2 COM VELOCIDADE IGUAL A 80KM/H, PELOS CRITÉRIOS DE RAIOS MÍNIMO E ESPIRAL MÍNIMA

CURVAS HORIZONTAIS COM TRANSIÇÃO					
Estaca Inicial	Estaca Final	Comprimento da espiral (m)	Espiral mínima (m)	Comprimento do Raio (m)	Raio mínimo (m)
15+5,443	15+17,018	11,575	69	-	-
15+17,018	19+10,250	73,232	-	260	210
19+10,250	20+1,825	11,575	69	-	-
24+11,899	28+5,032	73,134	72	-	-
28+5,032	36+18,820	173,787	-	190	210
36+18,820	40+11,954	73,134	72	-	-
42+0,334	47+19,868	119,534	72	-	-
47+19,868	57+1,997	182,129	-	205	210
57+1,997	63+1,531	119,534	72	-	-
85+3,810	87+4,991	41,181	60	-	-
87+4,991	94+5,558	140,567	-	350	210
94+5,558	96+6,739	41,181	60	-	-
107+18,862	110+13,147	54,285	62	-	-
110+13,147	119+14,878	181,731	-	330	210
119+14,878	122+9,163	54,285	62	-	-
149+9,971	151+0,237	30,266	72	-	-
151+0,237	154+9,928	69,691	-	200	210
154+9,928	156+0,194	30,266	72	-	-
160+7,886	161+13,525	25,639	55	-	-
161+13,525	163+3,039	29,514	-	400	210
163+3,039	164+8,678	25,639	55	-	-
173+7,584	177+12,589	85,005	72	-	-
177+12,589	187+7,299	194,709	-	195	210
187+7,299	191+12,304	85,005	72	-	-

199+0,553	202+8,884	68,331	72	-	-
202+8,884	216+13,151	284,267	-	195	210
216+13,151	220+1,482	68,331	72	-	-
234+13,518	236+13,357	39,839	40	-	-
236+13,357	237+18,418	25,061	-	600	210
237+18,418	239+18,257	39,839	40	-	-

Nota: Campos em vermelho não atendem aos critérios mínimos.

Fonte: Elaboração nossa (2023)

APÊNDICE E - ANÁLISE DAS CURVAS HORIZONTAIS DO TRECHO 1 COM VELOCIDADE IGUAL A 60KM/H, PELOS CRITÉRIOS DE RAIOS MÍNIMO E ESPIRAL MÍNIMA

CURVAS HORIZONTAIS COM TRANSIÇÃO					
Estaca Inicial	Estaca Final	Comprimento da espiral (m)	Espiral mínima (m)	Comprimento do Raio (m)	Raio mínimo (m)
0+17,019	1+18,373	21,353	59	-	-
1+18,373	4+14,590	56,217	-	130	115
4+14,590	5+15,943	21,353	59	-	-
7+16,495	8+18,114	21,619	60	-	-
8+18,114	14+2,525	104,411	-	100	115
14+2,525	15+4,144	21,619	60	-	-
17+3,472	19+11,815	48,343	60	-	-
19+11,815	25+12,433	120,617	-	98	115
25+12,433	28+0,776	48,343	60	-	-
30+5,284	31+5,667	20,382	59	-	-
31+5,667	34+3,662	57,996	-	130	115
34+3,662	35+4,044	20,382	59	-	-
36+17,966	38+19,397	41,432	60	-	-
38+19,397	44+3,138	103,741	-	107	115
44+3,138	46+4,570	41,432	60	-	-
47+10,406	48+19,949	29,543	44	-	-
48+19,949	52+3,002	63,054	-	230	115
52+3,002	53+12,545	29,543	44	-	-
53+18,474	55+1,183	22,708	42	-	-
55+1,183	58+13,716	72,533	-	250	115
58+13,716	59+16,424	22,708	42	-	-
60+19,685	62+1,436	21,752	30	-	-
62+1,436	64+15,606	54,169	-	400	115

64+15,606	65+17,358	21,752	30	-	-
67+11,392	70+11,036	59,645	60	-	-
70+11,036	78+5,105	154,069	-	85	115
78+5,105	81+4,750	59,645	60	-	-
82+4,790	85+7,337	62,547	46	-	-
85+7,337	95+3,500	196,164	-	220	115
95+3,500	98+6,047	62,547	46	-	-
114+14,973	117+0,800	45,827	46	-	-
117+0,800	119+15,847	55,047	-	225	115
119+15,847	122+1,674	45,827	46	-	-
128+15,462	131+2,747	47,285	44	-	-
131+2,747	139+18,121	175,374	-	230	115
139+18,121	142+5,406	47,285	44	-	-
145+7,483	147+16,649	49,166	52	-	-
147+16,649	150+17,252	60,603	-	180	115
150+17,252	153+6,418	49,166	52	-	-
157+7,973	161+6,472	78,499	46	-	-
161+6,472	166+18,985	112,513	-	220	115
166+18,985	170+17,484	78,499	46	-	-
172+5,863	174+12,714	46,851	46	-	-
174+12,714	185+1,218	208,504	-	225	115
185+1,218	187+8,069	46,851	46	-	-

Nota: Campos em vermelho não atendem aos critérios mínimos.

Fonte: Elaboração nossa (2023)

APÊNDICE F - ANÁLISE DAS CURVAS HORIZONTAIS DO TRECHO 2 COM VELOCIDADE IGUAL A 60KM/H, PELOS CRITÉRIOS DE RAIOS MÍNIMO E ESPIRAL MÍNIMA

CURVAS HORIZONTAIS COM TRANSIÇÃO					
Estaca Inicial	Estaca Final	Comprimento da espiral (m)	Espiral mínima (m)	Comprimento do Raio (m)	Raio mínimo (m)
15+5,443	15+17,018	11,575	42	-	-
15+17,018	19+10,250	73,232	-	260	115
19+10,250	20+1,825	11,575	42	-	-
24+11,899	28+5,032	73,134	49	-	-
28+5,032	36+18,820	173,787	-	190	115
36+18,820	40+11,954	73,134	49	-	-
42+0,334	47+19,868	119,534	48	-	-
47+19,868	57+1,997	182,129	-	205	115
57+1,997	63+1,531	119,534	48	-	-
85+3,810	87+4,991	41,181	34	-	-
87+4,991	94+5,558	140,567	-	350	115
94+5,558	96+6,739	41,181	34	-	-
107+18,862	110+13,147	54,285	35	-	-
110+13,147	119+14,878	181,731	-	330	115
119+14,878	122+9,163	54,285	35	-	-
149+9,971	151+0,237	30,266	48	-	-
151+0,237	154+9,928	69,691	-	200	115
154+9,928	156+0,194	30,266	48	-	-
160+7,886	161+13,525	25,639	30	-	-
161+13,525	163+3,039	29,514	-	400	115
163+3,039	164+8,678	25,639	30	-	-
173+7,584	177+12,589	85,005	49	-	-
177+12,589	187+7,299	194,709	-	195	115
187+7,299	191+12,304	85,005	49	-	-

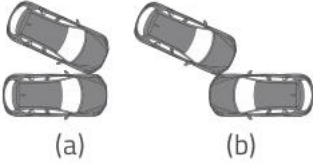
199+0,553	202+8,884	68,331	49	-	-
202+8,884	216+13,151	284,267	-	195	115
216+13,151	220+1,482	68,331	49	-	-
234+13,518	236+13,357	39,839	22	-	-
236+13,357	237+18,418	25,061	-	600	115
237+18,418	239+18,257	39,839	22	-	-

Nota: Campos em vermelho não atendem aos critérios mínimos.

Fonte: Elaboração nossa (2023)

ANEXO A – 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	 A side-view illustration of a dark-colored car on the left and a black silhouette of a pedestrian on the right, standing on a road.
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.	 Two illustrations: on the left, a side-view of a car; on the right, a top-down view of a car that has rolled over onto its side.
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.	 Two illustrations: on the left, a side-view of a car; on the right, a top-down view of a car that has flipped 180 degrees, with its wheels pointing upwards.
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	 A side-view illustration of a dark-colored car on the left and a silhouette of a large tree on the right, positioned as if the car has just struck or is about to strike it.

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: Extraído na íntegra. DER (2023, p. 89-91)