

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

César Luís Andriola

**ANÁLISE DA FREQUÊNCIA E SEVERIDADE DE
ACIDENTES VIÁRIOS EM CURVAS DE RODOVIAS DE
PISTA SIMPLES: O CASO DA BR 116**

Porto Alegre

Junho 2018

CÉSAR LUÍS ANDRIOLA

**ANÁLISE DA FREQUÊNCIA E SEVERIDADE DE
ACIDENTES VIÁRIOS EM CURVAS DE RODOVIAS DE
PISTA SIMPLES: O CASO DA BR 116**

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação do
Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Daniel Sergio Presta García
Coorientadora: Tânia Batistela Torres

Porto Alegre

Junho 2018

CÉSAR LUÍS ANDRIOLA

**ANÁLISE DA FREQUÊNCIA E SEVERIDADE DE
ACIDENTES VIÁRIOS EM CURVAS DE RODOVIAS DE
PISTA SIMPLES: O CASO DA BR 116**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2018

Prof. Daniel Sergio Presta García
Dr. Pela UFRGS
Orientador

Tânia Batistela Torres
Me. pela UFRGS
Coorientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Sergio Presta García (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Tânia Batistela Torres (UFRGS)
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Christine Tessele Nodari (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Helena Beatriz Bettella Cybis (UFRGS)
P.H.D pela Universidade da Califórnia

Dedico este trabalho a meus pais, Flavio e Marlene,
que sempre me apoiaram, especialmente durante o
período do meu Curso de Graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Daniel García, orientador desse trabalho, por sua extrema dedicação e vontade de ajudar em tudo o que foi possível neste trabalho.

Agradeço a Engenheira Tânia Batistela Torres, coorientadora desse trabalho, por estar sempre disponível para dúvidas, principalmente no que se refere a análise estatística realizada neste trabalho.

Agradeço a empresa STE pela disponibilização dos pontos de coordenadas necessários para a construção da base de dados.

Agradeço aos colegas de laboratório Cristhiane Demore, Daniela Horvath, Rodrigo Schmidt e Tiago Lanes que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ainda na esquina pode esperar, uma nova estrada
ou um portão secreto.
John Ronald Reuel Tolkien

RESUMO

Os acidentes de trânsito são responsáveis por 47 mil mortes nas estradas brasileiras por ano, resultando em um prejuízo de 40 bilhões de reais, levando em conta a perda de produção causada pela morte. Este trabalho busca identificar o impacto que os parâmetros geométricos Ângulo Central, Declividade, Desenvolvimento, Raio e Superelevação causam na frequência e severidade de acidentes em curvas de rodovias de pista simples. Além dessas variáveis, a estimação de um modelo de severidade de acidentes permitiu adicionar na análise variáveis ambientais e humanas existentes na base de dados da Polícia Rodoviária Federal. As variáveis utilizadas no presente trabalho se mostraram significativas em diferentes modelos, a diferentes níveis. Para a realização das análises, foi necessária a construção de uma base de dados contendo os parâmetros geométricos e a informação sobre acidentes para cada uma das curvas dos trechos estudados. A obtenção dos parâmetros geométricos foi realizada através da reconstituição geométrica da rodovia, realizada a partir de coordenadas georreferenciadas. A partir da construção da base de dados foram estimados dois tipos de modelos de regressão: o modelo Binomial Negativo para a análise da frequência de acidentes e o modelo *Logit* Ordenado para a análise da severidade de acidentes. O resultado mais importante encontrado foi o efeito do aumento da declividade e da superelevação no sentido de aumentar a frequência e de reduzir a severidade dos acidentes. Esse e outros resultados foram discutidos e interpretados a partir de resultados da literatura.

Palavras chave: Segurança Viária, Reconstituição Geométrica, Parâmetros Geométricos, Binomial Negativo, *Logit* Ordenado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama das principais etapas da pesquisa.....	18
Figura 2 - Forças atuantes sobre um veículo em curvas.....	29
Figura 3 - Pontos do levantamento de coordenadas no SAEPRO.....	40
Figura 4 - Obtenção de retas ajustadas aos pontos	40
Figura 5 - Criação do eixo do segmento.....	41
Figura 6 - Determinação do raio da curva	42
Figura 7 - Criação da malha irregular triangularizada.....	42
Figura 8 - Perfil longitudinal do terreno	43
Figura 9 - Definição do greide da rodovia.....	43
Figura 10 - Definição de curvas de concordância verticais.....	44
Figura 11 - Exemplo do Relatório de Planimetria.....	45
Figura 12 – Exemplo do Relatório de Altimetria	45
Figura 13 - Marco quilométrico no Google Street View.....	46
Figura 14 - Representação do erro do SNV em relação ao marco quilométrico 173	47
Figura 15 - Correção do erro do SNV em relação ao marco quilométrico 173.....	48
Figura 16 - Simplificação do valor de declividades em curva vertical	50
Figura 17 - Distribuição de frequência de acidentes em curvas	52
Figura 18 - Mapa de localização dos trechos estudados.....	58
Figura 19 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Ângulo Central.....	67
Figura 20 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Desenvolvimento.....	68
Figura 21 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Raios.....	69
Figura 22 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Superelevação.....	70
Figura 23 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Declividade.....	70
Figura 24 - Comparação da quantidade de acidentes em aclave e declive	71
Figura 25 - Comparação entre acidentes em aclave ou declive e a geometria por faixas de Declividades	71
Figura 26 - Comparação entre severidade de acidentes de aclives e declives.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de acidentes segundo NBR 10697.....	22
Quadro 2 - Velocidades diretrizes para projetos com base na classe da rodovia	28
Quadro 3 - Raio mínimo segundo equação 1	31
Quadro 4 - Exemplo de informações do SNV	39
Quadro 5 - SNV Atual dos trechos em análise.....	58
Quadro 6 - Erro da quilometragem entre SNV e reconstituição geométrica.....	59
Quadro 7 - Erro da quilometragem entre reconstituição geométrica e marcos quilométricos .	60
Quadro 8 - Correção do erro na quilometragem.....	60
Quadro 9 - Redução do erro existente após correção	61
Quadro 10 - Valores limites para os trechos estudados.....	61
Quadro 11 – Exemplo da base de dados construída com os parâmetros geométricos	62
Quadro 12 – Exemplo da base de dados construída com as características dos acidentes.....	62
Quadro 13 - Declividades fora de norma.....	63
Quadro 14 - Parâmetros k fora de norma	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo dos acidentes de trânsito para o ano de 2014.....	21
Tabela 2 - Coeficientes de atrito máximos admissíveis	30
Tabela 3 - Acidentes em cruzamento, reta ou curva.....	65
Tabela 4 - Acidentes do estudo em questão por tipo.....	65
Tabela 5 - Acidentes do estudo em questão por severidade	65
Tabela 6 - Acidentes do estudo em questão por causa	66
Tabela 7 - Estatística descritiva para as variáveis candidatas	73
Tabela 8 - Fatores de inflação da variância para as variáveis candidatas ao modelo de frequência	73
Tabela 9 - Modelo binomial negativo para a frequência de acidentes totais.....	74
Tabela 10 - Modelo binomial negativo para a frequência de acidentes em aclives	74
Tabela 11 - Modelo binomial negativo para a frequência de acidentes em declives	75
Tabela 12 - Efeitos marginais para o modelo de frequência de acidentes totais	75
Tabela 13 - Efeitos marginais para o modelo de frequência de acidentes de aclives.....	75
Tabela 14 - Efeitos marginais para o modelo de frequência de acidentes em declives.....	75
Tabela 15 - Fatores de inflação da variância para as variáveis candidatas ao modelo de severidade	76
Tabela 16 - Modelo <i>Logit</i> Ordenado para a severidade de acidentes	77
Tabela 17 - Efeitos marginais para o modelo de severidade de acidentes em declives	78

LISTA DE SIGLAS

AGNU – Assembleia Geral das Nações Unidas

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

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

VDM – Volume Diário Médio

PIB – Produto Interno Bruto

SNV – Sistema Nacional de Viação

PI - Ponto de Inflexão

PIV - Ponto de Inflexão Vertical

RPL – Relatório de Planimetria

RAT – Relatório de Altimetria

VIF – *Variance Inflation Factor*

LISTA DE SÍMBOLOS

A_c – ângulo central

D_c – desenvolvimento do trecho circular

e – superelevação

e_{max} – máxima taxa de superelevação adotada (m/m)

f - flecha máxima

f_{max} – máximo coeficiente de atrito transversal admissível entre o pneu e pavimento (adimensional)

l_c – comprimento da espiral de transição

R_{min} – raio mínimo da curva (m)

V – velocidade diretriz (km/h)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
1.2.1 Objetivo Principal	16
1.2.2 Objetivos Secundários	16
1.3 HIPÓTESES DA PESQUISA	16
1.4 PRESSUPOSTO.....	17
1.5 DELIMITAÇÕES.....	17
1.6 LIMITAÇÕES	17
1.7 DELINEAMENTO.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 SEGURANÇA VIÁRIA.....	20
2.1.1 Definição	20
2.1.2 Fatores que causam acidentes	20
2.1.3 Custos dos acidentes de trânsito	21
2.1.4 Tipos de acidentes	22
2.1.5 Levantamento dos dados de acidentes	23
2.2 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS	24
2.2.1 Classificação técnica de rodovias	24
2.2.2 Elementos de projeto	26
2.3 VARIÁVEIS RELEVANTES EM ACIDENTES VIÁRIOS	32
2.3.1 Ângulo Central	33
2.3.2 Desenvolvimento	33
2.3.3 Raio	34
2.3.4 Superelevação	34
2.3.5 Declividade	35
2.3.6 Variáveis de controle	36
3 METODOLOGIA	38
3.1 CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS	38
3.1.1 Reconstituição geométrica	38
3.1.2 Ajuste pelo Sistema Nacional de Viação	46
3.1.3 Ajuste pelos marcos quilométricos	46
3.1.4 Obtenção da classe e relevo da rodovia	48

3.1.5 Extração e filtragem dos parâmetros.....	49
3.1.6 Estruturação da base de dados.....	50
3.2 MODELAGEM ESTATÍSTICA.....	51
3.2.1 Modelo de frequência de acidentes	52
3.2.2 Modelo de severidade de acidentes	54
4 ESTUDO DA BR 116	57
4.1 RESULTADOS DA CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS	57
4.1.1 Resultado da reconstituição geométrica	57
4.1.2 Resultado do ajuste pelo Sistema Nacional de Viação	59
4.1.3 Resultado do ajuste pelos marcos quilométrico.....	59
4.1.4 Resultado da obtenção da classe e relevo da rodovia.....	61
4.1.5 Resultado da estruturação da base de dados	62
4.1.6 Parâmetros fora de norma.....	63
4.1.7 Características dos acidentes.....	64
4.1.8 Acidentes e parâmetros geométricos.....	66
4.2 RESULTADOS DA MODELAGEM ESTATÍSTICA	72
4.2.1 Resultados dos modelos de frequência de acidentes.....	73
4.2.2 Resultados do modelo de severidade de acidentes.....	76
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	79
5.1 MODELOS DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES.....	79
5.1.1 Modelo de frequência de acidentes totais.....	79
5.1.2 Modelo de frequência de acidentes em aclives.....	80
5.1.3 Modelo de frequência de acidentes em declives.....	81
5.2 MODELO DE SEVERIDADE DE ACIDENTES	81
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A	90
APÊNDICE B.....	93
APÊNDICE C.....	98
ANEXO A	101
ANEXO B	111

1 INTRODUÇÃO

A Assembleia Geral das Nações Unidas (AGNU) lançou em maio de 2010 a Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020, na qual governos de todo o mundo se comprometem a tomar novas medidas para prevenir os acidentes no trânsito. Para auxiliar os governos foi desenvolvido o Plano de Ação Global para a Década, que apresenta os pilares a serem implementados ao longo da década: gestão de segurança viária, rodovias seguras e mobilidade viária, veículos mais seguros, usuários de rodovias mais seguros e resposta à acidentes (UNITED NATIONS, 2011).

Segundo a *World Health Organization* (2015), todos os anos acidentes de trânsito matam no mundo cerca de 1,2 milhões de pessoas, sendo a primeira causa de mortes entre jovens entre 15 e 29 anos. O Brasil é o quinto país com mais mortes no trânsito, registrando em torno de 47 mil mortos e 300 mil feridos graves por ano. Esses acidentes representam um custo de 40 bilhões de reais por ano (IPEA, 2015), sendo esse valor causado principalmente pela perda de produção, seguido de custos hospitalares.

Os fatores responsáveis por acidentes viários podem ser divididos em três grandes categorias: motorista, veículo e rodovia (TREAT et al., 1979). Este estudo tem como enfoque a rodovia, que está no escopo da engenharia civil, permitindo o uso de conhecimentos e habilidades desenvolvidas durante o curso. Com um bom projeto rodoviário, é possível compensar parte dos outros fatores, reduzindo a probabilidade de ocorrência de acidentes viários e a severidade daqueles que ocorram.

Embora a maior parte dos acidentes em rodovias aconteça em trechos retos, é em curvas que ocorrem acidentes com maior severidade (RADIMSKY; MATUSZKOVA; BUDIK, 2016). Diversos estudos demonstram a necessidade de atualizar as atuais diretrizes para o projeto de curvas horizontas, principalmente no que se refere a trechos com elevadas declividades. O manual para projeto geométrico de rodovias da *American Association of State Highway and Transportation Officials*, (2011) possui recomendações quanto ao projeto de curvas em grandes declividades, ao contrário do que ocorre no manual do Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes (1999), que não aborda o assunto.

O presente trabalho visa identificar os impactos que os parâmetros geométricos de rodovias causam na frequência e severidade dos acidentes em curvas de rodovias de pista simples. Para realizar essa análise, foi construída uma base de dados contendo os parâmetros geométricos, obtidos pelo processo de reconstituição geométrica, e as informações sobre os acidentes, disponíveis na base de dados da Polícia Rodoviária Federal. A partir da construção dessa base de dados, foram utilizados modelos de regressão para quantificar o impacto das variáveis analisadas na frequência e severidade de acidentes.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Qual o impacto dos parâmetros geométricos de rodovias na frequência e severidade de acidentes em curvas de rodovias de pista simples.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e estão dispostos a seguir.

1.2.1 Objetivo Principal

Identificar o impacto dos parâmetros geométricos de rodovias na frequência e severidade de acidentes em curvas de rodovias de pista simples.

1.2.2 Objetivos Secundários

- a) Obtenção da reconstituição geométrica da rodovia.
- b) Mensuração dos impactos de variáveis ambientais e do usuário na frequência e severidade de acidentes viários em curvas de rodovias de pista simples.

1.3 HIPÓTESES DA PESQUISA

A redução dos valores da variável Raio e aumento dos valores das variáveis Ângulo Central, Declividade, Desenvolvimento e Superelevação estão associados a um aumento na frequência e severidade de acidentes.

1.4 PRESSUPOSTO

Não ocorreram mudanças geométricas significativas na rodovia estudada no período de registro dos acidentes, entre 2007 e 2016.

1.5 DELIMITAÇÕES

As delimitações são relativas aos acidentes e aos trechos a serem estudados:

- a) Acidentes dos tipos saída de pista, tombamento, capotamento e colisão com objeto fixo, em curva, nos anos de 2007 a 2016.
- b) Trechos de pista simples da BR 116 no estado do Rio Grande do Sul, do quilômetro 0 ao 235.

1.6 LIMITAÇÕES

As limitações do presente estudo estão descritas a seguir:

- a) Precisão dos dados do levantamento de coordenadas da rodovia, que definirá a qualidade da reconstituição geométrica realizada.
- b) Precisão dos dados disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal, que possuem precisão na localização dos acidentes no décimo de quilômetro, além da não conformação de alguns trechos com os dados do Sistema Nacional de Viação (SNV).
- c) Impossibilidade de medir a real superelevação da rodovia, que pode ter sido construída incorretamente ou modificada com o tempo, por conta de manutenções ou deterioração da mesma.
- d) Inexistência, nos segmentos considerados, da informação sobre a taxa de acidentes.

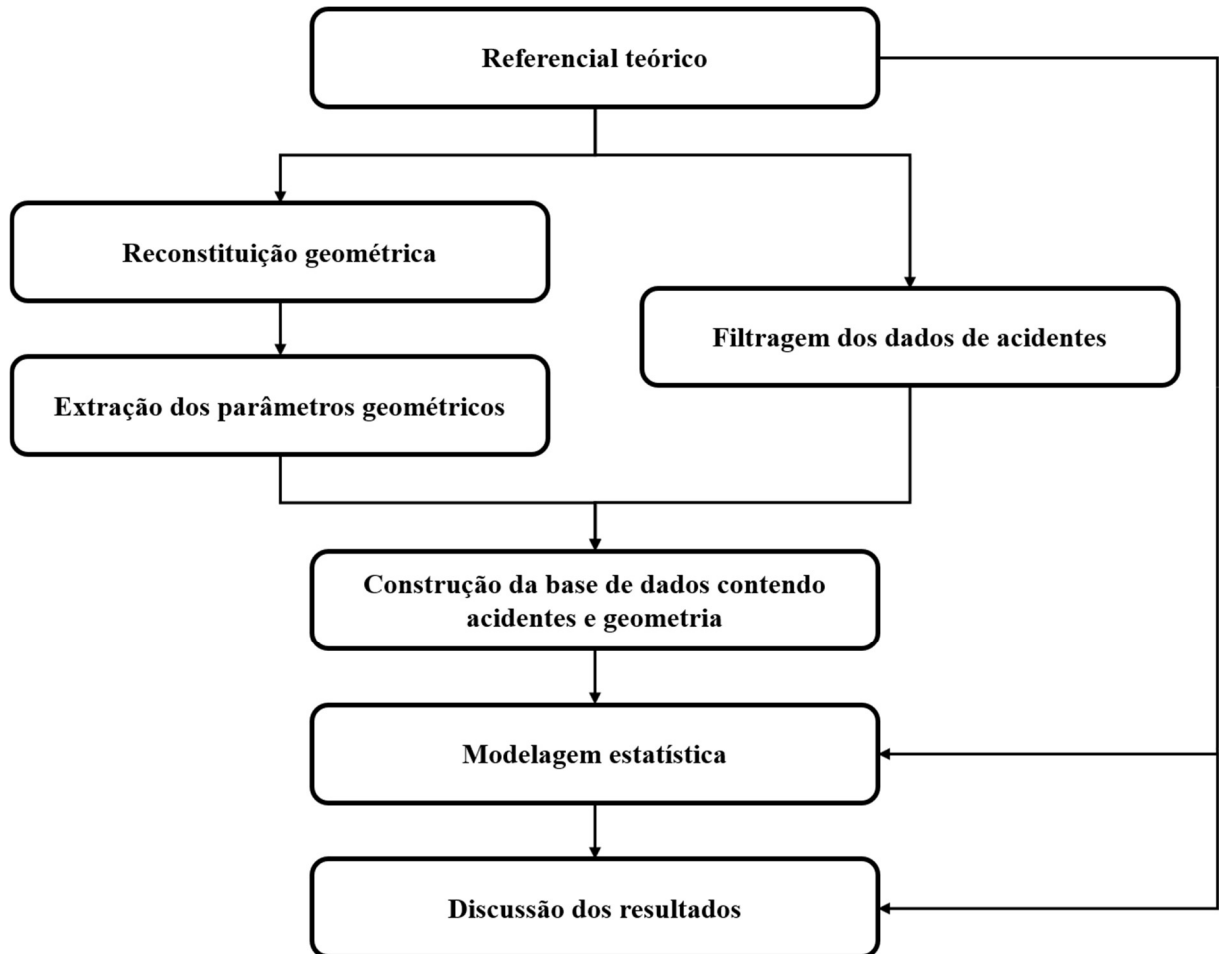
1.7 DELINEAMENTO

O trabalho será desenvolvido conforme as etapas e Figura 1 a seguir:

- a) Referencial teórico
- b) Reconstituição geométrica

- c) Extração dos parâmetros geométricos
- d) Filtragem dos dados de acidentes
- e) Construção da base de dados contendo acidentes e geometria
- f) Modelagem estatística
- g) Discussão dos resultados

Figura 1- Diagrama das principais etapas da pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

Na etapa de **referencial teórico** buscou-se obter uma base teórica sobre os assuntos que são tratados nesse trabalho: segurança viária, projeto geométrico de rodovias, e variáveis relevantes em acidentes viários.

Na próxima etapa foi desenvolvido o projeto da rodovia estudada em meio digital, por meio da **reconstituição geométrica**, de modo a possibilitar a **extração dos parâmetros geométricos** necessários para as análises propostas.

Simultaneamente com as etapas de reconstituição geométrica e extração dos parâmetros geométricos, foi realizada a **filtragem dos acidentes** disponíveis na base de dados da Polícia Rodoviária Federal, com base nos critérios considerados nas delimitações.

A partir da extração dos parâmetros geométricos da rodovia e da filtragem dos acidentes considerados, **construiu-se uma base de dados** contendo essas informações em conjunto, de modo a iniciar o processo de modelagem.

Na próxima etapa foram construídos dois tipos de **modelos estatísticos** utilizando a base de dados construída: o modelo Binomial Negativo para a análise da frequência de acidentes e o modelo *Logit* Ordenado para a análise da severidade de acidentes.

Após a construção dos modelos, os **resultados obtidos foram analisados**, de modo a verificar quais as variáveis que possuem maior impacto na frequência e severidade de acidentes em curvas de rodovias de pista simples, com enfoque principal nos parâmetros geométricos da rodovia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O primeiro assunto a ser desenvolvido neste capítulo é a segurança viária, que tem grande destaque no trabalho em questão, sendo necessário definir seus principais conceitos. O segundo assunto é o projeto geométrico de rodovias, cujas definições e conceitos são importantes para o desenvolvimento da metodologia, em especial para etapa de reconstituição geométrica. A última seção desse capítulo une os dois primeiros assuntos citados, buscando na literatura estudos que identificam as variáveis que impactam na segurança viária de rodovias.

2.1 SEGURANÇA VIÁRIA

Nessa seção são discutidos os principais tópicos relacionados com a segurança viária: definição, fatores que causam acidentes, custos dos acidentes, tipos de acidentes e levantamento dos dados de acidentes.

2.1.1 Definição

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989), em sua norma de número 10697, define os termos técnicos utilizados na preparação e execução de pesquisas relativas a acidentes de trânsito e elaboração de relatórios. Essa norma define “acidente de trânsito como todo evento não premeditado de que resulte dano em veículo ou na sua carga e/ou lesões em pessoas e/ou animais, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público. Pode originar-se, terminar ou envolver veículo parcialmente na via pública.

2.1.2 Fatores que causam acidentes

Os acidentes de trânsito geralmente são causados pela combinação de diversos fatores. Esses fatores podem ser combinados em três grandes categorias que recebem o nome de componentes de acidentes: componente humano, componente veicular e componente viário-ambiental (NODARI, 2003). Na maioria das vezes, os acidentes são causados por falha humana, mas apesar desse componente ser o mais significativo, a melhoria da via pode reduzir o índice de

erros dos motoristas, diminuindo o número e gravidade de acidentes de trânsito (BRANCO, 1999).

Para a engenharia, o enfoque da redução dos acidentes de trânsito se dá no componente viário ambiental. Entre os fatores de risco associados a via podemos citar: defeitos na superfície de rolamento, projeto geométrico inadequado, sinalização deficiente, intersecções inadequadas, problemas na lateral da via e falta de iluminação em locais críticos. (FERRAZ et al, 2012).

2.1.3 Custos dos acidentes de trânsito

Acidentes de trânsito geram altos custos econômicos para a sociedade, que são difíceis de mensurar. Os custos em acidentes de trânsito podem ser separados em custos associados às pessoas, veículos, via/ambiente e instituições. Os maiores custos são os associados com as pessoas, em especial os custos relacionados à perda de produção (DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2006).

Os acidentes de trânsito ocorridos em rodovias federais, atualizados para o ano de 2014, geraram um custo para a sociedade de R\$ 12,3 bilhões, como apresentado na Tabela 1. Desses custos, 64,7% estavam associados às vítimas dos acidentes, como cuidados com a saúde e perda de produção devido às lesões ou morte, e 34,7% estavam associados aos veículos, como danos materiais e perda de cargas, além dos procedimentos de remoção dos veículos acidentados (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2015). O valor apresentado equivale a 0,2% do PIB do mesmo ano, que foi de R\$ 5,521 trilhões.

Tabela 1 - Custo dos acidentes de trânsito para o ano de 2014

Gravidade do acidente	Quantidade de acidentes	Custo total (R\$)	Custo médio (R\$)
Com fatalidade	6742	4.360.475.741,48	646.762,94
Com vítimas	62458	5.632.631.701,18	90.182,71
Sem vítimas	99953	2.305.213.040,41	23.062,97
Total	169153	12.298.321.302,43	72.705,31

(fonte: INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2015, p. 21)

Além dos custos econômicos, acidentes de trânsito geram ainda elevados custos humanos e sociais, que não podem ser mensuráveis: sofrimento físico e psicológico das vítimas, sofrimento psicológico dos familiares, doenças psicológicas, perda da qualidade de vida, desestruturação

econômica de famílias. Outro custo importante gerado pelos acidentes de trânsito é o ambiental, produzido geralmente por derramamento de carga de veículos transportando produtos químicos (FERRAZ et al., 2012).

2.1.4 Tipos de acidentes

Uma definição importante, que delimita o estudo em questão, é quanto ao tipo de acidente. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989), classifica os acidentes conforme tipo e descrição a seguir:

Quadro 1 - Tipos de acidentes segundo NBR 10697

	TIPO	DEFINIÇÃO
1	Atropelamento	Acidente em que um pedestre ou um animal é atingido por veículo motorizado ou não.
2	Acidente pessoal de trânsito	Todo acidente em que o pedestre sofre lesões corporais ou danos materiais, desde que não haja participação de veículos ou ação criminosa.
3	Capotamento	Quando o veículo gira sobre si mesmo, em qualquer sentido, chegando a ficar com as rodas para cima, imobilizando-se em qualquer posição.
4	Choque	Impacto de um veículo em movimento contra qualquer obstáculo fixo, podendo ser um poste, uma árvore, um muro, um veículo estacionado ou outro elemento objeto.
5	Colisão	Acidente em que há impacto entre veículos em movimento.
5.1	colisão frontal	Impacto entre veículos que transitam na mesma via, em sentidos opostos.
5.2	colisão lateral	Impacto lateral entre veículos que transitam na mesma via, podendo ser no mesmo sentido ou em sentidos opostos.
5.3	colisão transversal	Impacto entre veículos que transitam em direções que se cruzam, perpendicularmente ou não.
5.4	colisão traseira	Impacto entre veículos que transitam na mesma via, no mesmo sentido, sendo que um dos veículos atinge de frente a parte traseira do outro.
6	Engavetamento	Colisão tipo traseira, envolvendo três ou mais veículos.
7	Queda	Acidente em que há impacto em razão da queda livre do veículo, ou queda de pessoas ou cargas por elas transportadas.
8	Tombamento	Quando o veículo tomba sobre sua lateral, imobilizando-se.
9	Outros acidentes de trânsito	Qualquer acidente que não se enquadre nas definições anteriores.

(fonte: elaborada pelo autor.)

A norma apresentada ainda classifica a vítima de acidente de trânsito de acordo com os ferimentos recebidos, no momento do acidente, ou até 30 dias após, em: vítima fatal de acidente de trânsito, vítima de acidente de trânsito de natureza grave, vítima de acidente de trânsito com ferimentos de natureza leve.

A Polícia Rodoviária Federal utiliza a classificação apresentada no Quadro 1 como base para seus boletins de ocorrência, com o acréscimo dos tipos de acidente: saída de pista, colisão com objeto móvel, colisão com bicicleta, danos eventuais, derramamento de carga e incêndio. Os acidentes considerados nesse estudo: capotamento, tombamento, colisão com objeto fixo e saída de pista, foram escolhidos por intuitivamente ocorrerem devido aos parâmetros geométricos de curvas. Um fato que corrobora essa hipótese é a ocorrência, em curvas dos trechos estudados, de acidentes dos tipos considerados em 72,6% dos casos, contra 30,9% para os demais tipos de acidentes.

2.1.5 Levantamento dos dados de acidentes

A melhoria da base de dados de acidentes é uma prioridade mundial, como destacado no Plano de Ação Global para a Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020 (UNITED NATIONS, 2011). Uma base de dados precisa é de vital importância para o desenvolvimento de um transporte mais seguro, pois a informação de acidentes é essencial para entender onde e porque os acidentes ocorreram no passado e como prevenir eventos similares no futuro (MONTELLA et al., 2017). Além disso, no contexto da segurança viária, a qualidade da tomada de decisão é dependente da qualidade dos dados em que essa decisão é baseada, e ao final serão julgadas pelas mesmas (AUSTROADS¹, 1997, apud AUSTROADS, 2009).

Atualmente, as informações relativas aos acidentes de trânsito em rodovias federais são levantadas pela Polícia Rodoviária Federal, por intermédio de Boletins de Acidente de Trânsito (BAT), onde são obtidas as principais informações necessárias para estudos no campo da segurança viária. No anexo A é apresentado o modelo de boletim de ocorrência atualmente utilizado. A base de dados disponível para consulta pela Polícia Rodoviária Federal compreende dados de acidentes de todas as rodovias federais do Brasil, no intervalo de tempo de 2007 até 2017 (DEPARTAMENTO DE POLICIA RODOVIÁRIA FEDERAL, 2017).

A maior deficiência da base de dados da Polícia Rodoviária Federal é a precisão da localização do acidente, cuja informação é coletada com base nos marcos quilométricos ao longo das rodovias, e possui precisão no décimo de quilômetro. No entanto, a partir de 2017 essa

¹ AUSTROADS. Guide to road safety. Part 8, Sydney: Austroads, 1997

localização também vem sendo coletada utilizando GPS, o que traz uma melhoria de precisão significativa.

2.2 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS

Nesta seção são expostos os atuais critérios para projeto de rodovias brasileiras, realizando uma revisão aprofundada sobre o projeto de curvas horizontas, que faz parte do escopo desse trabalho. A subseção 2.2.1 trata da atual classificação técnica utilizada no Brasil, que será utilizada para definir a classe do trecho estudado. A subseção 2.2.2 expõe os elementos de projeto de rodovias, apresentando detalhadamente o elemento alinhamento horizontal.

2.2.1 Classificação técnica de rodovias

Os trechos de rodovias da rede nacional são agrupados em cinco classes de rodovias, numeradas de 0 a IV, sendo os menores números correspondentes a características técnicas mais exigentes (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 1999). Nesta subseção são discutidos alguns dos principais critérios para a definição da classe de rodovias: relevo e volume médio diário.

2.2.1.1 Relevo

Um aspecto importante no projeto de rodovias é a definição do relevo da região atravessada pela rodovia, pois é um dos principais influenciadores do custo de construção. O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999, p. 22) utiliza as seguintes definições, resultantes de experiência, e baseadas na *American Association of State Highway and Transportation Officials* (1994),:

Região Plana: é aquela que permite a implantação de rodovias com grandes distâncias de visibilidade, sem dificuldade de construção e sem custos elevados.

Região Ondulada: é aquela onde as inclinações naturais do terreno exigem frequentes cortes e aterros de dimensões reduzidas para acomodação dos greides das rodovias, e que eventualmente oferecem alguma restrição à implantação dos alinhamentos horizontal e vertical.

Região montanhosa: é aquela onde são abruptas as variações longitudinais e transversais da elevação do terreno em relação a rodovia, e onde são frequentemente necessários aterros e cortes laterais das encostas para se conseguir implantar alinhamentos horizontais e verticais acessíveis.

2.2.1.2 Volume Médio Diário de Tráfego

O Volume Médio Diário (VMD) é definido como o número de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia, por dia durante um certo período de tempo. Quando não se especifica o período considerado, pressupõe-se que se trata de um ano (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES², 1997 apud DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 1999). A contagem do VMD no Brasil é realizada pelo DNIT, através do Plano Nacional de Contagem de Tráfego, com a utilização de pontos de coleta distribuídos pelas principais rodovias federais do país. O VMD é o principal parâmetro que define as classes de projeto, como discutido na próxima subseção.

2.2.1.3 Classes de Projeto

As classes de projeto foram definidas pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999, p. 24), utilizando na sua formulação o volume de tráfego e a dificuldade de implantação da rodovia resultante da natureza do terreno atravessado:

- Classe 0 (Via expressa): Rodovia de mais alto padrão, com pista dupla e controle total de acessos. VMD mínimo depende do nível de serviço, sendo 1000 veículos para região montanhosa com baixa visibilidade.
- Classe I: Essa categoria é dividida em vias de Classe I-A (pista dupla) e Classe I-B (pista simples).
- Classe I-A: Rodovia com duas pistas e controle parcial de acessos. Limite inferior de VMD igual ao da classe especial.
- Classe I-B: Rodovia de pista simples, de elevado padrão, suportando volumes de tráfego projetados para 10 anos após a abertura ao tráfego. VMD mínimo de 1400 veículos
- Classe II: Rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfego, conforme projetados para o 10º ano após a abertura ao tráfego. VMD mínimo de 700 veículos.
- Classe III: Rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfego, conforme projetados para o 10º ano após a abertura ao tráfego. VMD mínimo de 300 veículos.

² DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Glossário de termos técnicos rodoviários. Rio de Janeiro, 1997

- Classe IV: Rodovia de pista simples, com características técnicas suficientes para atendimento a custo mínimo do tráfego previsto no seu ano de abertura. Geralmente não é pavimentada e faz parte do sistema local.
- Classe IV-A: VMD de 50 a 200 veículos no ano de abertura.
- Classe IV-B: VMD inferior a 50 veículos no ano de abertura

2.2.2 Elementos de projeto

Existem diversos elementos no traçado de uma rodovia que são comuns para diferentes classes de rodovias. O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999) inclui como elementos do projeto: velocidade diretriz, distâncias de visibilidade, alinhamento horizontal, alinhamento vertical e elementos da seção transversal. Serão expostos os elementos relevantes para o trabalho em questão, que são: veículo de projeto, velocidade diretriz e alinhamento horizontal.

2.2.2.1 Veículo de Projeto

As diferentes características dos veículos influenciam em diversos aspectos do projeto de rodovias, condicionando o dimensionamento de elementos estruturais e de geometria. O manual de projeto geométrico do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999, p.43) cita como exemplos:

A largura do veículo influencia a largura da pista de rolamento, do acostamento e dos ramos;

A distância entre eixos influi no cálculo da superlargura das pistas principais e na determinação da largura e dos raios mínimos internos das pistas dos ramos;

O comprimento do veículo influencia a largura dos canteiros, a extensão de faixas de espera, a capacidade da rodovia e as dimensões de estacionamento;

A relação peso bruto total/potência relaciona-se com o valor da rampa máxima admissível, participa na determinação da necessidade de faixa adicional de subida (terceira faixa) e, para efeito de capacidade, na equivalência em unidades de carros de passeio;

O peso bruto admissível dos veículos, conjugado com a configuração dos eixos e a posição do centro de gravidade, influi no dimensionamento e configuração do pavimento, de separadores rígidos e defensas;

A altura admissível para os veículos condiciona o gabarito vertical sob redes áreas e viadutos, túneis, sinalização vertical e semáforos;

Os veículos de projeto são classificados em categorias de veículo tipo, conforme suas características. O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999, p. 46) utiliza as mesmas categorias utilizadas no manual da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (1994), que são:

VP – Representa os veículos leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo vans, utilitários, pick-ups e similares.

CO- Representa os veículos comerciais rígidos (não articulados) compostos de unidade tratora simples. Estes abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de dois eixos e seis rodas.

O – Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões. Entre estes incluem-se ônibus de longo percurso e de turismo, bem como caminhões longos, frequentemente de três eixos (trucão), de maiores dimensões que o veículo CO básico. Ademais seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal de comprimento admissível para veículos rígidos, superior ao comprimento do veículo CO.

SR – Representa os veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples e um semi-reboque. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal para veículos dessa categoria.

A escolha de um determinado veículo de projeto, significa proporcionar aos veículos de dimensões iguais ou mais favoráveis trafegar com condições operacionais adequadas. Os veículos com dimensões menos favoráveis que o veículo de projeto não estarão impedidos de trafegar, mas terão condições operacionais menos favoráveis do que a mínima estabelecida. Essa escolha deve, portanto, levar em consideração a composição do tráfego da via. No Brasil temos grande participação no tráfego do veículo tipo CO, sendo normalmente adotado como veículo de projeto (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 1999).

2.2.2.2 Velocidade Diretriz

Velocidade diretriz, ou velocidade de projeto, é definida pelo manual de projeto geométrico do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999, p. 41) como:

A maior velocidade com que pode ser percorrida um trecho viário cuja superfície de rolamento apresente condições normais de rugosidade e ondulações, com segurança e em condições aceitáveis de conforto, mesmo com o pavimento molhado, quando o veículo estiver submetido apenas às limitações impostas pelas características geométricas, sem influência do tráfego.

É a partir da velocidade diretriz que se condiciona as demais características de projeto da rodovia, tais como: curvatura, superelevação e distância de visibilidade, das quais depende a

operação segura e confortável dos veículos. O Quadro 2 resume os valores de velocidade diretriz a serem adotadas segundo a classe de projeto e relevo da região.

Quadro 2 - Velocidades diretrizes para projetos com base na classe da rodovia

Classe 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: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1999, p. 42)

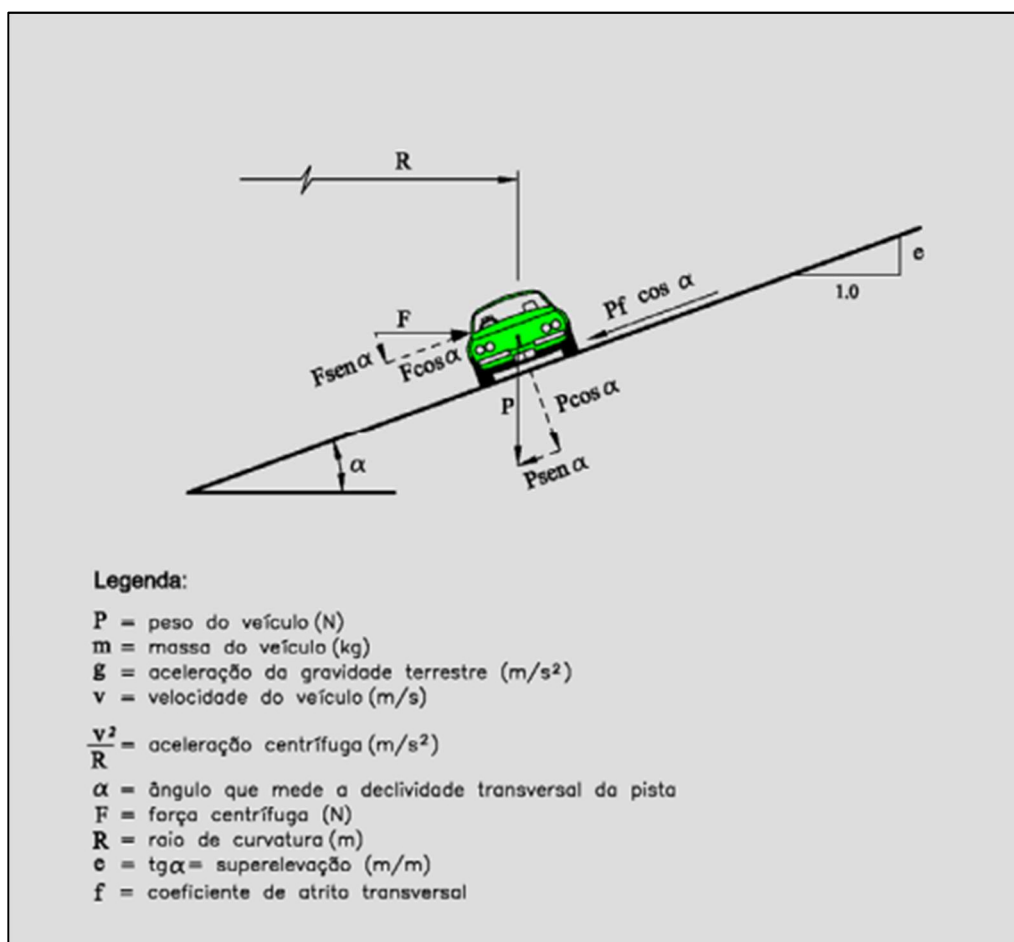
2.2.2.3 Alinhamento Horizontal

Segundo a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (2011) o projeto de curvas horizontais deve ser baseado na relação apropriada entre velocidade diretriz e curvatura, e a relação conjunta dessas com a superelevação e atrito transversal. A seguir estão dispostos os principais itens do projeto de curvas horizontais, as quais são foco do trabalho.

2.2.2.3.1 Considerações Gerais

Quando um veículo acaba de percorrer um trecho em tangente e inicia um trecho curvo, ele é sujeito à ação de uma força centrífuga, que atua de dentro para fora da curva. Essa força é contrabalançada pela força de atrito gerada entre os pneus do veículo e o pavimento e pela componente do peso do veículo produzida pela superelevação, conforme apresentado a seguir:

Figura 2 - Forças atuantes sobre um veículo em curvas



(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2005, p. 62)

As condições de equilíbrio, segundo a Figura 2, são dadas pela equação:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{max} + f_{max})} \quad (1)$$

Onde:

R_{min} = raio mínimo da curva (m)

V = velocidade diretriz (km/h)

e_{max} = máxima taxa de superelevação adotada (m/m)

f_{max} = máximo coeficiente de atrito transversal admissível entre o pneu e pavimento (adimensional)

2.2.2.3.2 Atrito transversal

Apesar de existir um valor de atrito transversal máximo, as curvas horizontais não são projetadas utilizando esse valor como base, pois isso produziria grande desconforto para o motorista. Na Tabela 2 são apresentados os valores de atrito transversal máximo admissível utilizados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999, p. 71) que utiliza as mesmas categorias descritas no manual da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (2011, p. 3-32), que se baseia em testes realizados nos anos 40 nos Estados Unidos com diferentes velocidades diretrizes. É possível perceber que os valores adotados pela AASHTO são mais favoráveis a segurança.

Tabela 2 - Coeficientes de atrito máximos admissíveis

Velocidade diretriz (km/h)		30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00	110,00	120,00
Coeficiente de atrito transversal	DNER	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11
	AASHTO	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09

(fonte: elaborada pelo autor)

2.2.2.3.3 Superelevação máxima

O manual de projeto geométrico de rodovias rurais do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999, p. 98) apresenta, a partir da consideração conjunta de diversas condicionantes, a seguinte recomendação para a taxa máxima admissível de superelevação, utilizada em casos que o raio mínimo foi empregado:

12% - A taxa máxima prática admissível para superelevação de projetos rodoviários é de 12%. Seu emprego deve ser limitado aos casos de melhorias e correção de situações perigosas existentes sem alteração dos raios em planta (por economia ou impossibilidade). Deverá ser verificada a incidência de veículos lentos, já que para esses o aumento da superelevação será contraindicada. Nos casos de projetos novos deve-se procurar aumentar os raios e não a superelevação. Para duplicação com aproveitamento de pista existente sem alterações, cada sentido pode ser atendido separadamente, se necessário.

10% - Próprio para rodovias de padrão elevado, onde as condições topográficas, geométricas e de atrito transversal e os volumes de tráfego favoreçam elevadas velocidades e fluxo ininterrupto. Adotar para rodovias de Classe 0 em geral e classe 1 em regiões Planas e onduladas.

8% - Em Projetos de rodovias de padrão intermediário ou de rodovias de elevado padrão sujeitas a fatores (geralmente topográficos), que reduzem a velocidade média. Adotar para Classe 1 em região montanhosa e rodovias das demais classes de projeto em geral.

6% - Em Projetos condicionados por urbanização adjacente e frequentes intersecções, que provocam redução da velocidade média.

4% - Em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente e reduzida flexibilidade para variar as declividades transversais da pista, sem vias marginais.

2.2.2.3.4 Superelevação para raios acima do mínimo

Em casos em que o raio utilizado é menor que o mínimo, a aceleração centrífoga diminui e não há necessidade de manter a superelevação máxima. Para garantir um nível adequado de conforto para o motorista, o DNER, em seu Manual de Projeto Geométrico (1999) propõe a redução gradual e simultânea da taxa de superelevação e do atrito até atingir a taxa mínima de superelevação admissível (normalmente 2%). Essa metodologia é aplicada utilizando a Equação 2:

$$e = e_{max} \times \left(\frac{2 \times R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right) \quad (2)$$

Onde:

e_{max} = máxima taxa de superelevação adotada (%)

e = superelevação recomendada para a curva em questão (%)

R_{min} = raio mínimo da curva (m)

R = raio da curva em questão (m)

2.2.2.3.5 Raio mínimo recomendado

O raio mínimo é determinado com base na superelevação e velocidade diretriz, sem levar em conta a declividade do local. Considerando os coeficientes máximos admissíveis para atrito transversal, e aplicando a Equação 1, são obtidos os valores dos raios mínimos:

Quadro 3 - Raio mínimo segundo equação 1

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	190

(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1999, p. 71)

2.2.2.3.6 Efeito do greide

O manual de projeto geométrico de rodovias rurais do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999) não apresenta nenhuma consideração em especial para o caso de curvas fechadas em trechos íngremes. No entanto, a AASHTO vem a cada publicação de seu manual adicionando recomendações quanto ao projeto de curvas horizontais em grandes declividades. A seguir estão dispostas as recomendações da edição mais recente do manual da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (2011, p. 3-33, tradução nossa):

Em greides extensos ou bastante íngremes, motoristas tendem a dirigir mais rápido no declive do que no aclave. Adicionalmente, pesquisas tem mostrado que a demanda de atrito transversal é maior em ambos os declives (devido a forças de frenagem) e aclives acentuados (devido a forças de tração). Alguns ajustes na taxa de superelevação deveriam ser considerados para greides mais íngremes que 5%. Este ajuste é particularmente importante em locais com volumes altos de caminhões e em locais de baixa velocidade com curvas intermediárias usando altos níveis de atrito transversal demandado.

No caso de rodovias divididas, com cada faixa de tráfego independentemente superelevada, ou em rampas de faixa única, ajustes na superelevação podem ser realizados facilmente. De maneira simples, valores resultantes da equação 1 podem ser usados diretamente supondo uma velocidade diretriz maior para declives. Uma vez que veículos tendem a reduzir a velocidade em aclives íngremes, o ajuste de superelevação pode ser realizado sem reduzir a velocidade diretriz para o aclave. A variação apropriada da velocidade depende de condições particulares, especialmente o grau e extensão do greide, e da magnitude do raio da curva comparado com outras curvas existentes do trecho da rodovia.

Em rodovias de pista simples e rodovias de várias pistas sem canteiro central, o ajuste para o greide pode ser realizado assumindo uma maior velocidade diretriz no declive e aplicando essa velocidade para toda a seção transversal (pistas em aclave e declive). A superelevação extra no aclave pode ajudar a combater a perda do atrito transversal disponível devido a forças de tração. Em aclives extensos, a superelevação adicional pode causar atrito transversal negativo para veículos lentos (como grandes caminhões). Esse efeito pode ser mitigado pela baixa velocidade do veículo, permitindo tempo para girar a direção, e pelo aumento na experiência e treinamento para motoristas de caminhão.

2.3 VARIÁVEIS RELEVANTES EM ACIDENTES VIÁRIOS

O propósito da revisão bibliográfica contida nessa seção foi expor os diversos estudos conduzidos no mundo que tratam do tema discutido nesse trabalho, identificando os parâmetros geométricos que potencialmente impactam a frequência e a severidade de acidentes em curvas. Tendo em vista que o foco desse estudo são os parâmetros geométricos de rodovias, que fazem parte do componente viário, conforme comentado anteriormente, essas são as variáveis com maior destaque nesta seção. Estudos que analisam a frequência de acidentes viários em rodovias rurais são os que mais apresentam como variáveis relevantes os parâmetros geométricos da

rodovia, enquanto os estudos que analisam a severidade de acidentes tendem a apresentar como variáveis relevantes parâmetros humanos e ambientais.

2.3.1 Ângulo Central

Diversos estudos realizados na área de segurança viária demonstraram o relacionamento do parâmetro geométrico ângulo central com a frequência de acidentes. Fink (1995), utilizando um modelo de regressão linear em rodovias de pista simples, encontrou o ângulo central como variável de relação mais clara com acidentes. Aram (2010), utilizando o modelo de regressão de Poisson em rodovias de pista simples, encontrou como variáveis significativas, além de outras, o ângulo central como significativo. Garnaik (2014), realizado análise da variância (ANOVA), também encontrou o ângulo central como variável significativa. Dong et al (2015), Rengarasu, Hagiwara e Hirasawa (2009), utilizando modelos de regressão binomiais negativos em rodovias de pista simples, encontraram o ângulo central como variável significativa na frequência de acidentes envolvendo todos os tipos de veículos e caminhões, respectivamente. Todos os estudos dispostos nessa subseção obtiveram como resultado um aumento na frequência de acidentes na medida que o valor do ângulo central aumenta.

2.3.2 Desenvolvimento

O parâmetro geométrico desenvolvimento não está presente em diversos estudos, principalmente por estar diretamente relacionado com o ângulo central e o raio. No entanto, Aram (2010), ao utilizar o modelo de regressão de Poisson, conforme subseção anterior, encontrou como variável significativa o desenvolvimento. O autor obteve como resultados que um aumento no desenvolvimento resulta em um aumento na taxa de acidentes, mesmo o desenvolvimento sendo significativamente menor na medida que o raio da curva diminui. Schneider, Savolainen e Moore, (2010), utilizando o modelo de regressão binomial negativo em rodovias de pista simples, encontraram o desenvolvimento como variável significativa na frequência de acidentes envolvendo motocicletas, aumentando o número de acidentes com o aumento do valor do desenvolvimento.

2.3.3 Raio

O raio é um dos parâmetros geométricos mais citados como significativos para a frequência de acidentes. Garnaik (2014), Schneider, Savolainen e Moore, (2010), conforme citado anteriormente, obtiveram como o raio como variável significativa na frequência de acidentes. Iyina et al (1997) utilizando o modelo de regressão de Poisson e Ma e Li, (2010), utilizando o modelos de regressão múltipla em rodovias de pista simples, também obtiveram o raio como variável significativa na frequência de acidentes. Todos os estudos dispostos anteriormente obtiveram um aumento na frequência de acidentes na medida que o valor do raio diminuía. Parkhill (2006), Hosseinpour et al (2016) e Cruz et al (2017), ao analisarem os acidentes dos tipos saída de pista, capotamento e tombamento, respectivamente, recomendam aumentar os raios de curvas para a redução dos acidentes nessas condições.

Alguns estudos verificaram a influência da variável raio na severidade de acidentes. Anastasopoulos et al. (2012), utilizando o modelo de regressão *Tobit*, obtiveram como resultado o aumento no número de possíveis feridos com o aumento do valor do raio. Schneider, Savolainen e Zimmerman, (2009), utilizando o modelo de regressão *Logit* Multinomial em rodovias de pista simples, obtiveram como resultado uma tendência de acidentes com maior severidade em raios de valor médio, (152,4 a 853,44 metros).

2.3.4 Superelevação

A superelevação é um parâmetro crítico no projeto de curvas horizontais, pois envolve a dinâmica do veículo e forças transversais, conforme discutido na seção anterior. Aram (2010) e Garnaik (2014), conforme disposto anteriormente, encontraram diversas variáveis como significativas para o aumento da frequência de acidentes, entre elas a superelevação, onde um aumento em seu valor produziu um aumento na frequência de acidentes. Sameen e Pradhan (2016), utilizando o modelo de regressão *Logit*, obtiveram, com o aumento do valor da superelevação, um aumento maior da quantidade de acidentes com feridos leves do que com feridos fatais.

Eck e French (2002) estudaram os problemas enfrentados por caminhões em curvas fechadas e trechos íngremes acentuados, em curvas do estado da Virgínia, nos Estados Unidos. Os autores avaliaram o atrito disponível em curvas, concluindo que em declives acentuados, parte do atrito

disponível é consumido para manter ou reduzir a velocidade, deixando menos atrito disponível para contrapor as forças laterais. O autor conclui que altas taxas de superelevação (8 a 16 %) fazem curvas mais tolerantes, apesar de não permitir um aumento da velocidade. Torbick et al (2014) analisaram várias combinações de critérios de projeto para curvas horizontais com greides variáveis, utilizando modelos de simulação da dinâmica dos veículos (*vehicle dynamics simulations*), e sugerem o uso de superelevações de até 12% em declive e 9% em aclave.

2.3.5 Declividade

A declividade não é um parâmetro considerado de grande destaque no projeto de curvas horizontais, mesmo sendo um fator significativo na ocorrência de acidentes segundo diversos estudos. Shankar, Mannering e Barfield, (1995), utilizando o modelo de regressão de Poisson, obtiveram como resultado um aumento na frequência de acidentes com o aumento do valor da declividade. Agbelie, (2016), utilizando o modelo de regressão Binomial Negativo, obteve como resultado uma tendência de aumento na frequência de acidentes para declividades maiores que 5%. Anastasopoulos et al. (2012), conforme disposto anteriormente, obtiveram como um dos resultados o aumento no número de possíveis feridos com o aumento da declividade. Chikkakrishna, Parida e Jain, (2017), utilizando o modelo de regressão *Probit* ordenado, obtiveram como resultados uma redução na severidade de acidentes com o aumento da declividade.

Diversos estudos analisaram a influência de elevadas declividades no projeto de rodovias. Bonneson (2000) expõe que em declividades acentuadas parte do atrito é usado para tracionar o veículo em aclives ou desacelerar o veículo em declives, de modo a manter sua velocidade. O autor conclui que essa redução no atrito transversal disponível diminui a margem de segurança para veículos em curvas fechadas em altas declividades, principalmente no caso de caminhões. Eck e French (2002), conforme comentado anteriormente, também avalia atrito disponível em curvas nos trechos íngremes, concluindo que altas taxas de superelevação (8 a 16 %) fazem curvas mais tolerantes, apesar de não permitir um aumento da velocidade. Mavromatis et al. (2016), realizando medições utilizando carro padrão em declives e aclave, e utilizando o modelo ponto de massa, encontraram como resultado que trechos em aclave são mais críticos, pois uma parte do atrito está atuando na direção longitudinal.

2.3.6 Variáveis de controle

Existem variáveis que não fazem parte do objetivo principal do trabalho, mas que possivelmente afetam a frequência e severidade de acidentes, devendo assim ser usadas quando possível. Essas variáveis são chamadas de variáveis de controle e estão dispostas a seguir.

2.3.6.1 Velocidade

Em rodovias rurais, o fator preponderante no aumento na frequência e severidade de acidentes é a velocidade, conforme inúmeros estudos na área. Dong et al. (2015) e Dong et al. (2017), utilizando Modelos de regressão Binomiais Negativos, observaram o aumento da frequência de acidentes envolvendo caminhões com o aumento do limite de velocidade. Renski, Khattak e Council (1999), e Chikkakrishna, Parida e Jain, (2017), utilizando o modelo de regressão *Probit* ordenado, verificaram um aumento da severidade de acidentes com o aumento do limite de velocidade e da velocidade operacional, respectivamente. Ma et al. (2015), utilizando o modelo de regressão *Logit* ordenado em rodovias de pista simples, também verificaram o aumento da severidade de acidentes com o aumento da velocidade operacional. No Brasil, Garcia, Lindau e Nodari, (2013) observaram, mediante a criação de um modelo de previsão da velocidade operacional, que menores raios e maiores declividades reduzem a velocidade operacional. Os autores utilizaram para a construção do modelo curvas de rodovias de pista simples do estado do Rio Grande do Sul, entre elas, 22 que estão contidas no presente estudo.

2.3.6.2 Iluminação

Outra variável que se demonstra significativa na frequência e severidade de acidentes é a presença de iluminação. Agbelie, (2016), utilizando o modelo de regressão Binomial Negativo, obteve como resultados um aumento na frequência de acidentes com a diminuição ou inexistência de iluminação. Dong et al. (2015), também utilizando o modelo de regressão Binomial Negativo, obtiveram o mesmo resultado do autor anterior para acidentes envolvendo caminhões. De Oña, Mujalli e Calvo, (2011), utilizando redes bayesianas para classificar a severidade de acidentes, verificaram que rodovias sem iluminação estão associadas a acidentes de maior severidade.

2.3.6.3 Condição climática

A condição climática no momento do acidente também se demonstra significativa na frequência e severidade de acidentes. Shankar, Mannering e Barfield, (1995), conforme disposto anteriormente, obtiveram como resultado uma maior frequência de acidentes na ocorrência de chuva. Anastasopoulos et al. (2012) e Ma et al. (2015) utilizando os modelos de regressão *Tobit* e *Logit* ordenados, respectivamente, obtiveram como resultados uma maior severidade de acidentes na ocorrência de chuva.

No entanto, alguns autores observaram uma tendência oposta, com a diminuição de severidade com a ocorrência de chuva, neblina ou neve. Castro, Paleti e Bhat, (2013), utilizando um modelo de resposta ordenada, observaram a redução da severidade na ocorrência de neblina ou chuva. Chen et al. (2016) e Shrestha e Shrestha, (2017), utilizando os modelos de regressão *Logit* ordenado e *Logit* Binário, respectivamente, também obtiveram como resultados a diminuição da severidade na ocorrência de chuva. Milton, Shankar e Mannering, (2008), utilizando um modelo de regressão *Logit* misto, observaram uma redução na severidade de acidentes com a presença de neve. Esses resultados são explicados pelo fato dos motoristas dirigirem com maior atenção nesses casos.

2.3.6.4 Outras variáveis

De Oña, Mujalli e Calvo (2011) e Dong et al. (2017), conforme disposto anteriormente, observaram uma maior frequência de acidentes com motoristas jovens. Chen et al. (2016), utilizando um modelo de regressão *Logit* ordenado, verificaram uma maior severidade em acidentes envolvendo pessoas idosas. Anastasopoulos et al. (2012), conforme disposto anteriormente, observaram um aumento na ocorrência de vítimas feridas com a diminuição do atrito entre pista e veículo. Chen et al. (2016), conforme disposto anteriormente, verificaram que a não utilização do cinto de segurança e o consumo de álcool contribuíram para o aumento da severidade de acidentes. Al-Bdairi, Hernandez e Anderson, (2018), ao utilizarem um modelo de regressão *Logit* Multinomial na análise da ocorrência de acidentes do tipo saída de pista envolvendo caminhões, observaram que a não utilização de cinto de segurança e a fadiga causaram um aumento na severidade de acidentes nesses casos. Ma et al. (2015), conforme disposto anteriormente, verificaram um aumento na severidade de acidentes nos casos em que os motoristas dirigiam sem habilitação ou com influência de álcool.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo está descrito o método utilizado no presente trabalho, que é dividido em duas etapas. A etapa (i) compreende a construção da base de dados de acidentes e geometria, que envolve a reconstituição geométrica, ajuste dessa reconstituição pelo Sistema Nacional de Viação e pelos marcos quilométricos, e extração dos parâmetros necessários para análise. A etapa (ii) compreende a modelagem da frequência e severidade dos acidentes.

3.1 CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

A primeira subseção desta seção trata da reconstituição geométrica, tarefa mais manual e consumidora de tempo do presente trabalho, que utiliza os conceitos de projeto de rodovias dispostos no capítulo anterior para construir o projeto da rodovia em formato digital, de modo a ser possível a extração dos parâmetros geométricos necessários para as análises propostas. Em seguida é exposto o processo de verificação da necessidade ou não de ajustes nas quilometragens resultantes da reconstituição geométrica, para após a obtenção da classe e relevo da rodovia, extrair os parâmetros geométricos.

3.1.1 Reconstituição geométrica

O processo descrito neste capítulo é aplicado para segmentos de rodovias federais que não possuem projeto em meio digital, sendo necessário sua confecção. São utilizados os softwares *SAEPRO*, *Microsoft Excel* e *Google Earth* para realização da reconstituição geométrica, que é composta pelos elementos planimétricos, topográficos e altimétricos.

Para a realização do processo de reconstituição geométrica, é necessária uma base de dados de pontos com coordenadas georreferenciadas, com precisão suficiente para a identificação das curvas de concordância horizontais e verticais.

Antes do início do processo em si, os segmentos disponíveis para estudo são divididos em trechos conforme o Sistema Nacional de Viação (SNV), de modo a garantir uma melhor organização dos dados e reduzir o poder de processamento necessário para realizar a

reconstituição geométrica no SAEPRO. O SNV, que foi instituído pela lei nº 12.379, de 6 de janeiro de 2011, é constituído pela infraestrutura física e operacional dos vários modos de transporte de pessoas e bens, sob jurisdição dos diferentes entes da federação (BRASIL, 2011). No Quadro abaixo está apresentada uma página de exemplo do SNV atual, com suas principais informações.

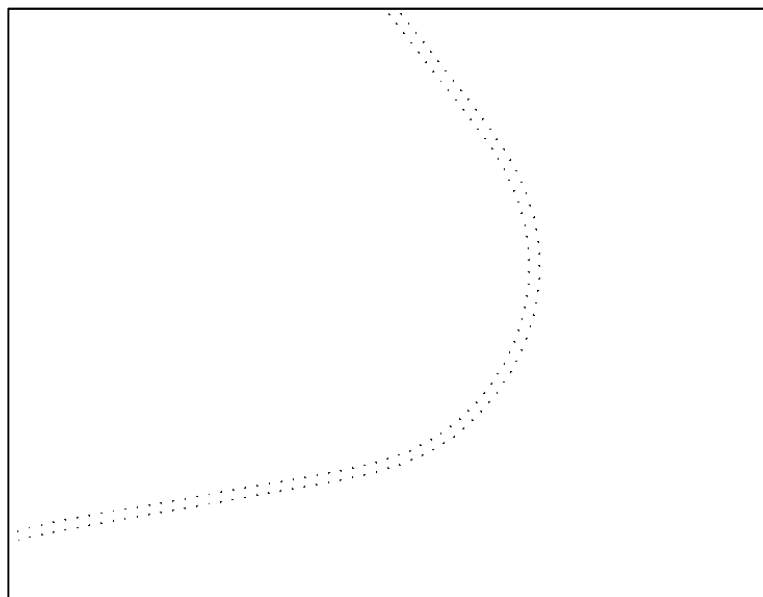
Quadro 4 - Exemplo de informações do SNV

BR		UF	Tipo de trecho	Desc Coinc	Código	Local de Início	Local de Fim	km inicial	km final	Extensão	Superfície Federal
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0010	ENTR BR-020(A)/030(A)/450/DF-001 (BRASÍLIA)	ENTR DF-440	0	2,5	2,5	DUP
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0015	ENTR DF-440	ACESSO I SOBRADINHO	2,5	6	3,5	DUP
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0016	ACESSO I SOBRADINHO	ACESSO II SOBRADINHO	6	8,4	2,4	DUP
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0018	ACESSO II SOBRADINHO	ENTR DF-230	8,4	18,8	10,4	DUP
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0020	ENTR DF-230	ENTR DF-128	18,8	22,6	3,8	DUP
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0022	ENTR DF-128	P/PLANALTINA	22,6	25,6	3	DUP
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0030	P/PLANALTINA	ENTR BR-020(B)/030(B)/DF-345(A)	25,6	33,6	8	DUP
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0050	ENTR BR-020(B)/030(B)/DF-345(A)	ENTR VICINAL-111	33,6	37,7	4,1	PLA
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0052	ENTR VICINAL-111	ENTR DF-205	37,7	42,3	4,6	PLA
010	DF		Eixo Principal	-	010BDF0070	ENTR DF-205	ENTR DF-345(B) (DIV DF/GO)	42,3	44,6	2,3	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0090	ENTR GO-118(A) (DIV DF/GO)	ENTR GO-430(A)	0	5,1	5,1	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0095	ENTR GO-430(A)	ENTR GO-430(B) (P/PLANALTINA)	5,1	8,6	3,5	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0110	ENTR GO-430(B) (P/PLANALTINA)	SÃO GABRIEL DE GOIÁS	8,6	31,6	23	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0120	SÃO GABRIEL DE GOIÁS	ENTR GO-230	31,6	37,8	6,2	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0125	ENTR GO-230	ENTR GO-237	37,8	66,4	28,6	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0130	ENTR GO-237	INÍCIO PERÍMETRO URB SÃO JOÃO D ALIANÇA	66,4	92,5	26,1	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0135	INÍCIO PERÍMETRO URB SÃO JOÃO D ALIANÇA	FIM PERÍMETRO URB SÃO JOÃO D ALIANÇA	92,5	94,1	1,6	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0140	FIM PERÍMETRO URB SÃO JOÃO D ALIANÇA	ENTR GO-236	94,1	105,5	11,4	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0150	ENTR GO-236	ENTR GO-239(A) (ALTO PARAÍSO DE GOIÁS)	105,5	160,9	55,4	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0160	ENTR GO-239(A) (ALTO PARAÍSO DE GOIÁS)	ENTR GO-239(B) (ALTO PARAÍSO DE GOIÁS)	160,9	161,9	1	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0170	ENTR GO-239(B) (ALTO PARAÍSO DE GOIÁS)	ENTR GO-118(B)/241 (TERESINA DE GOIÁS)	161,9	227	65,1	PLA
010	GO		Eixo Principal	-	010BGO0180	ENTR GO-118(B)/241 (TERESINA DE GOIÁS)	DIV GO/TO (RIO PARANÁ)	227	289	62	PLA
010	MA		Eixo Principal	-	010BMA0360	DIV TO/MA	ENTR BR-230(A) (CAROLINA)	0	34	34	PLA
010	MA		Eixo Principal	-	010BMA0370	ENTR BR-230(A) (CAROLINA)	ENTR BR-226(A)/230(B)/MA-138 (ESTREITO)	34	128,8	94,8	PAV
010	MA		Eixo Principal	-	010BMA0390	ENTR BR-226(A)/230(B)/MA-138 (ESTREITO)	ENTR BR-226(B) (PORTO FRANCO)	128,8	156,4	27,6	PAV
010	MA		Eixo Principal	-	010BMA0400	ENTR BR-226(B) (PORTO FRANCO)	CAMPESTRE DO MARANHÃO	156,4	176,8	20,4	PAV
010	MA		Eixo Principal	-	010BMA0410	CAMPESTRE DO MARANHÃO	RIBAMAR FIQUENE	176,8	203,5	26,7	PAV
010	MA		Eixo Principal	-	010BMA0420	RIBAMAR FIQUENE	ENTR MA-280 (GOVERNADOR ÉDSON LOBÃO)	203,5	223,1	19,6	PAV

(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE.)

Após a divisão dos segmentos em trechos conforme o SNV, os pontos de coordenadas existentes são importados para o SAEPRO, conforme Figura 3 a seguir, para que se inicie o processo de reconstituição dos elementos planimétricos. No caso da figura de exemplo, os pontos foram coletados por meio de um veículo equipado com equipamento GPS, no qual cada linha de pontos equivale ao percurso de uma das faixas de rolamento da rodovia.

Figura 3 - Pontos do levantamento de coordenadas no SAEPRO

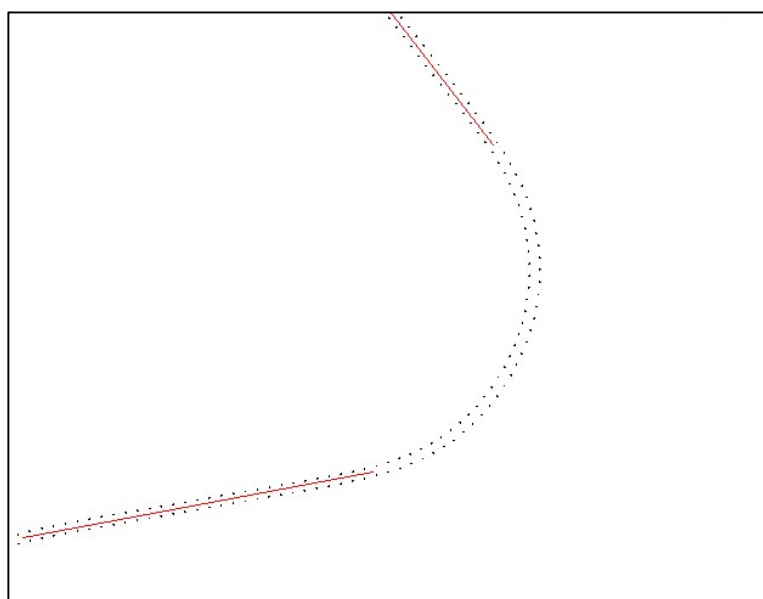


(fonte: elaborado pelo autor.)

3.1.1.1 Elementos planimétricos

Realizada a importação dos pontos de levantamento para o SAEPRO, a reconstituição geométrica inicia-se pela obtenção de retas que melhor se ajustam aos pontos, conforme apresentado na Figura 4. Essa tarefa é realizada no SAEPRO, o qual faz uso do método dos mínimos quadrados.

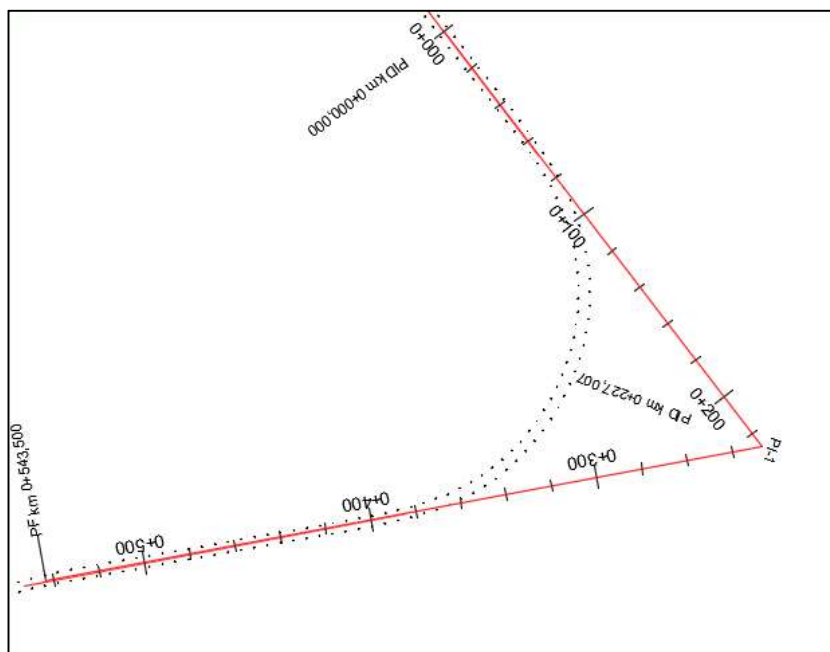
Figura 4 - Obtenção de retas ajustadas aos pontos



(fonte: elaborado pelo autor.)

Após a obtenção das retas de melhor ajuste, essas são unidas para formar o eixo do segmento em questão, conforme Figura 5:

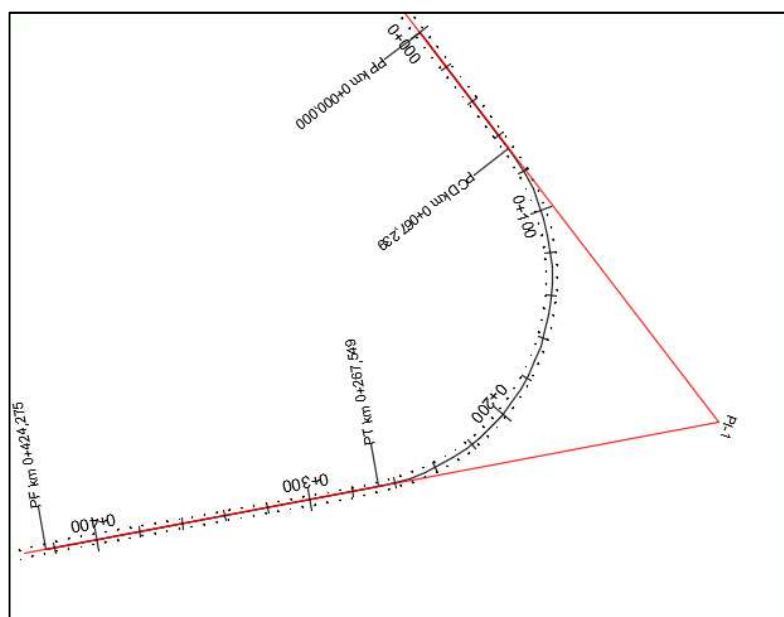
Figura 5 - Criação do eixo do segmento



(fonte: elaborado pelo autor.)

O procedimento seguinte é a determinação do raio das curvas de concordância horizontais, realizado por intermédio da inserção manual do BD, que é a distância entre o PI e o centro da curva, conforme Figura 6. De modo a otimizar esse processo, foram utilizadas curvas de concordância horizontal sempre que possível, pela similaridade do raio resultante com o raio de curvas de transição, mesmo que isso implicasse em curvas fora de norma.

Figura 6 - Determinação do raio da curva

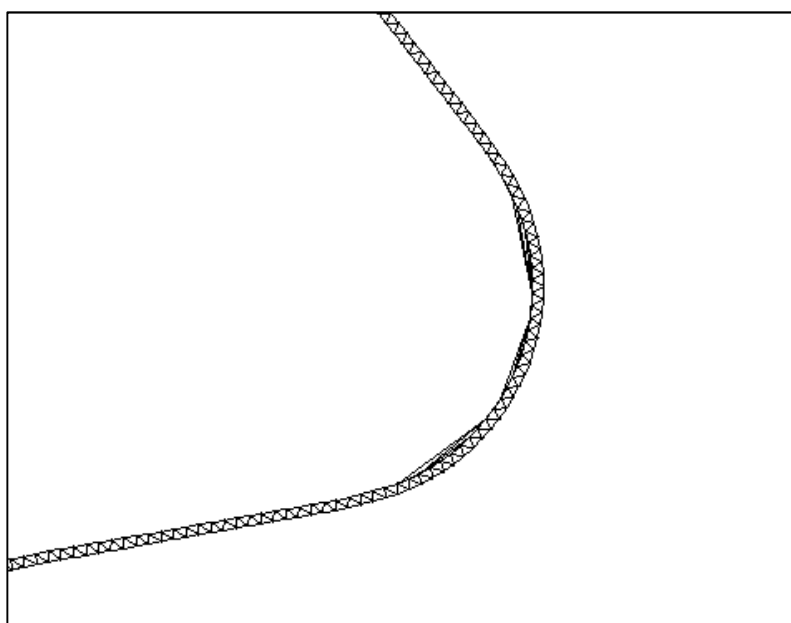


(fonte: elaborado pelo autor.)

3.1.1.2 Elementos topográficos

Os pontos resultantes do levantamento de coordenadas possuem as coordenadas x , y e z , que são utilizadas para a criação de uma superfície, para, em seguida, obter o projeto altimétrico. O procedimento de criação da superfície é realizado no SAEPRO, mediante a criação de uma malha irregular triangularizada, como apresentado a seguir:

Figura 7 - Criação da malha irregular triangularizada

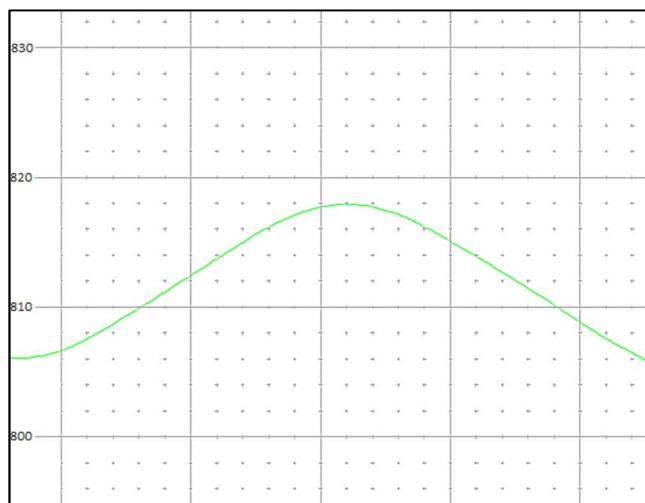


(fonte: elaborado pelo autor.)

3.1.1.3 Elementos altimétricos

Com uma superfície e eixo elaborados, é possível obter o perfil longitudinal do terreno, conforme Figura 8.

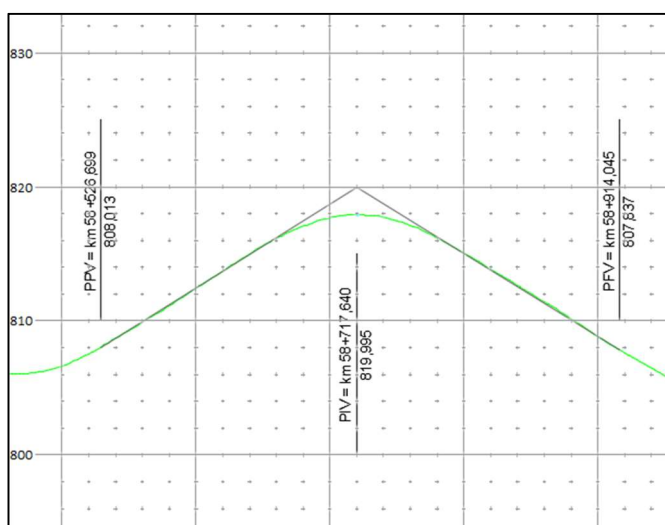
Figura 8 - Perfil longitudinal do terreno



(fonte: elaborado pelo autor.)

Para a definição do greide da rodovia, é necessário adequá-lo ao máximo com o perfil do terreno obtido anteriormente, visto que esse representa a real configuração longitudinal da rodovia no terreno. A primeira etapa na definição do greide é a criação dos Pontos de Inflexão Verticais (PIVs), conforme Figura 9.

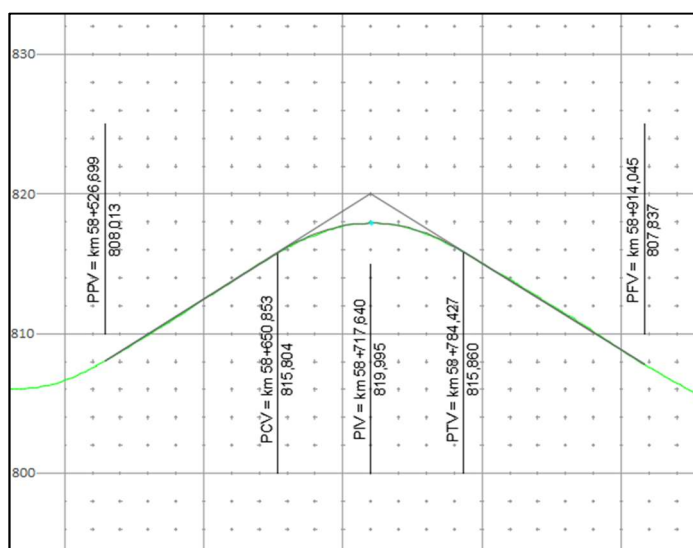
Figura 9 - Definição do greide da rodovia



(fonte: elaborado pelo autor.)

O processo de obtenção da curva de concordância vertical é realizado de forma análoga ao da curva de concordância horizontal, definindo-se manualmente a flecha (f), que é a distância entre o PIV e o centro do arco de parábola, conforme Figura 10. Caso necessário, os PIVs são modificados manualmente, de modo a obter a configuração longitudinal mais próxima à rodovia existente.

Figura 10 - Definição de curvas de concordância verticais



(fonte: elaborado pelo autor.)

Como produtos da reconstituição geométrica temos diversos relatórios gerados pelo SAEPRO, em particular o Relatório de Planimetria (RPL) e o Relatório de Altimetria (RAT), conforme exemplo das Figura 11 e 12, e Apêndices A e B, que serão utilizados na obtenção dos parâmetros planimétricos e altimétricos necessários para as análises propostas. É importante lembrar que esses valores ainda serão ajustados, conforme disposto nas próximas seções.

3.1.2 Ajuste pelo Sistema Nacional de Viação

Após realizada a reconstituição geométrica dos trechos em estudo, a quilometragem de início de cada trecho é ajustada conforme indicação do local de início e fim do trecho no SNV. O passo seguinte é verificar se o valor da extensão do trecho na reconstituição geométrica se aproxima ao valor indicado no Quadro 4, e caso contrário, é determinado o erro existente.

3.1.3 Ajuste pelos marcos quilométricos

Tendo em vista que a coleta da localização dos acidentes pela Polícia Rodoviária Federal é realizada com base nos marcos quilométricos, conforme exemplo da Figura 13, é necessário comparar os valores resultantes da reconstituição geométrica com a localização dos marcos quilômetros existentes na rodovia. Para esse processo é utilizada a ferramenta *Street View* do Google Earth, localizando os marcos quilométricos mais próximos do início e fim de cada trecho, para em seguida exportar essa informação para o SAEPRO.

Figura 13 - Marco quilométrico no Google Street View

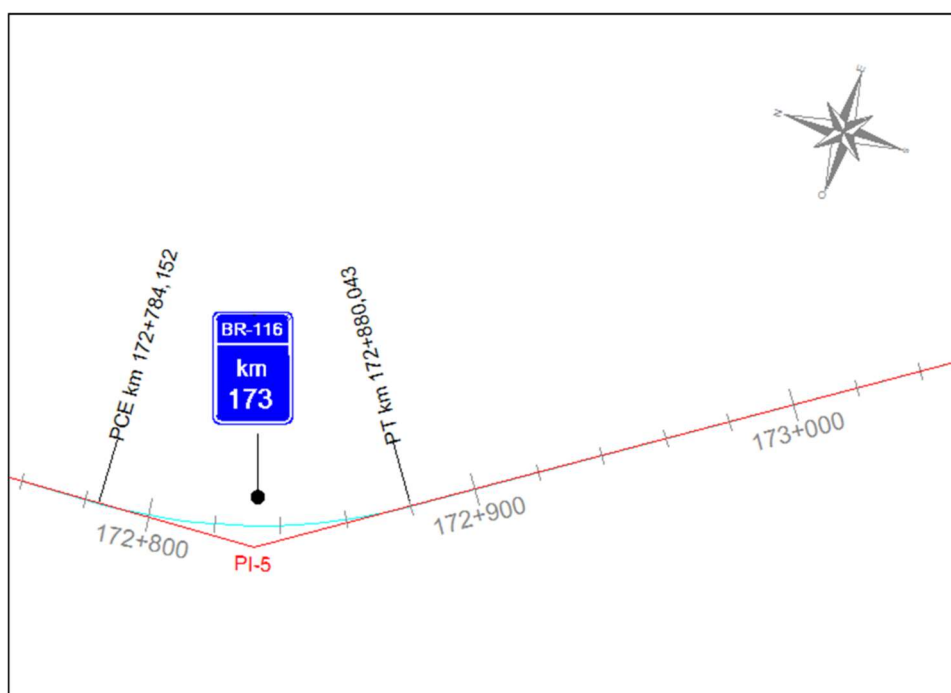


(fonte: elaborado pelo autor.)

É importante observar, que, apesar dos marcos quilométricos serem a fonte de dados mais precisa disponível, estando geralmente no local exato indicado no mesmo, em locais urbanos, intersecções, ou em locais conflitantes com outras placas, o marco quilométrico pode estar deslocado do seu local exato. Para garantir a maior precisão possível, além do marco quilométrico verificado estar no início do trecho em questão, também deve estar em local sem interferências externas.

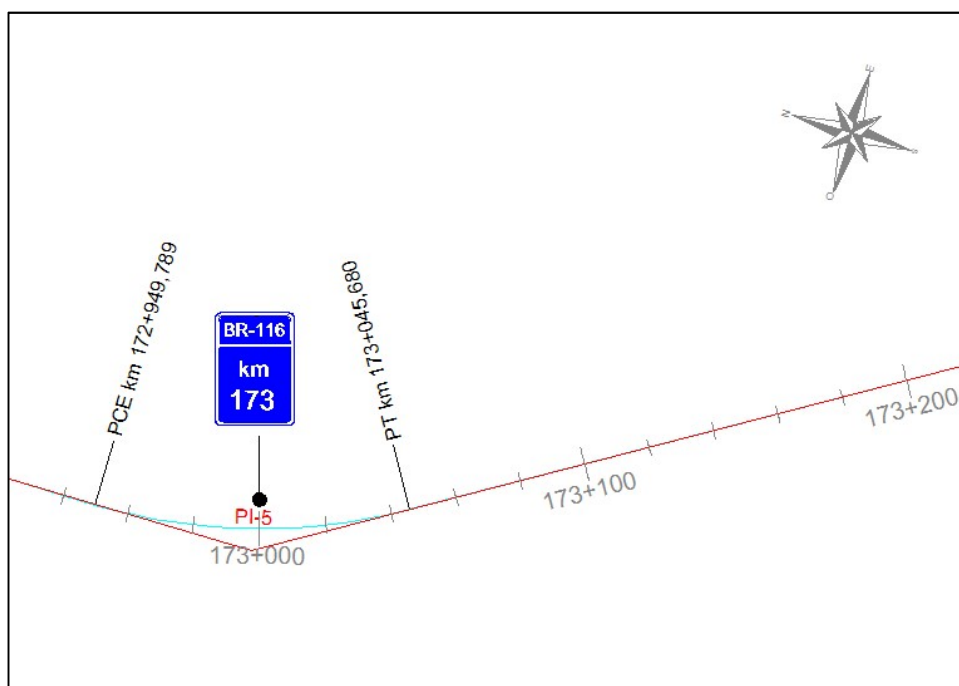
Caso, após verificada a nova precisão quilométrica em relação ao SNV, o erro continue relevante, deve-se trabalhar com cada trecho isoladamente, de modo a ser possível ajustar a quilometragem inicial do SNV com a quilometragem do primeiro marco quilométrico existente no trecho. Esse processo é realizado alterando-se o valor da quilometragem inicial do trecho de modo que a posição do marco quilométrico coincida com a quilometragem do projeto em desenvolvimento, conforme exemplos das Figuras 14 e 15 a seguir:

Figura 14 - Representação do erro do SNV em relação ao marco quilométrico 173



(fonte: elaborado pelo autor.)

Figura 15 - Correção do erro do SNV em relação ao marco quilométrico 173



(fonte: elaborado pelo autor.)

Após a realização desse procedimento, verifica-se o erro existente ao final do trecho, comparando a quilometragem do último marco quilométrico existente com a quilometragem do mesmo no projeto em execução. Caso verifique-se a necessidade, é possível dividir os trechos com erros maiores, de modo a dissipar esse erro.

A partir da delimitação do universo, e da divisão e ajuste dos trechos conforme o SNV, é necessário determinar a classe e relevos considerados na elaboração do projeto geométrico dos trechos em estudo, para a correta obtenção dos parâmetros necessários para as análises.

3.1.4 Obtenção da classe e relevo da rodovia

Para a determinação da classe e relevo utilizados na elaboração do projeto dos trechos em estudo analisa-se para cada trecho o raio mínimo, constante k mínima e declividade máxima existente. A partir desses valores, compara-se com os valores limites de cada classe e relevo dispostos no Manual de Projeto Geométrico do DNER (1999), conforme tabela do Anexo B.

3.1.5 Extração e filtragem dos parâmetros

Os parâmetros necessários para as análises da geometria da rodovia são obtidos por meio dos relatórios de planimetria (RPL) e altimetria (RAT) gerados no SAEPRO, e de certas equações que utilizam dados desses relatórios. Esses parâmetros são então copiados para uma planilha eletrônica, onde são tratados conjuntamente com os dados de acidentes, para a futura análise dos resultados.

3.1.5.1 Ângulo Central, Desenvolvimento e Raio

Para a obtenção dos parâmetros planimétricos é necessário determinar em qual curva horizontal ocorreu o acidente, pois o processo metodológico em questão se limita à análise de acidentes em curvas. A partir do RPL, é obtida a quilometragem de início e fim da curva horizontal. Com essa informação e a quilometragem de cada acidente é possível relacionar cada acidente a uma determinada curva horizontal. Para acidentes cuja quilometragem não se encontrava em nenhuma curva conforme RPL, o mesmo foi considerado para a curva mais próxima. Conjuntamente com o processo disposto anteriormente, são obtidos os valores do ângulo central, desenvolvimento e raio para cada curva de concordância horizontal diretamente do RPL, como é possível verificar na Figura 11.

3.1.5.2 Superelevação

A obtenção dos valores de superelevação para curvas de concordância horizontal com raio maior que o mínimo segue o procedimento disposto anteriormente, que, porém, não pode ser obtido diretamente do RPL. Utiliza-se a equação 2, citada no capítulo 3, que leva em consideração o raio da curva, raio mínimo e superelevação máxima para a classe de rodovia do trecho em questão.

3.1.5.3 Declividade

Para a obtenção da declividade, único parâmetro altimétrico analisado, o processo se diferencia da obtenção dos parâmetros planimétricos, pois em cada curva horizontal podem existir múltiplas declividades, principalmente no caso de ocorrência de curvas de concordância verticais. A declividade de acidentes cuja quilometragem está em rampa é obtida diretamente do RAT, conforme Figura 12.

Para o caso da declividade dos segmentos que estão na primeira metade de uma curva de concordância vertical foi aplicado uma simplificação conforme Figura 16 e equação abaixo. Para declividades na segunda metade de curvas de concordância vertical, o procedimento é análogo.

$$i = \frac{ESTc - PCVc}{X1} \quad (3)$$

Onde:

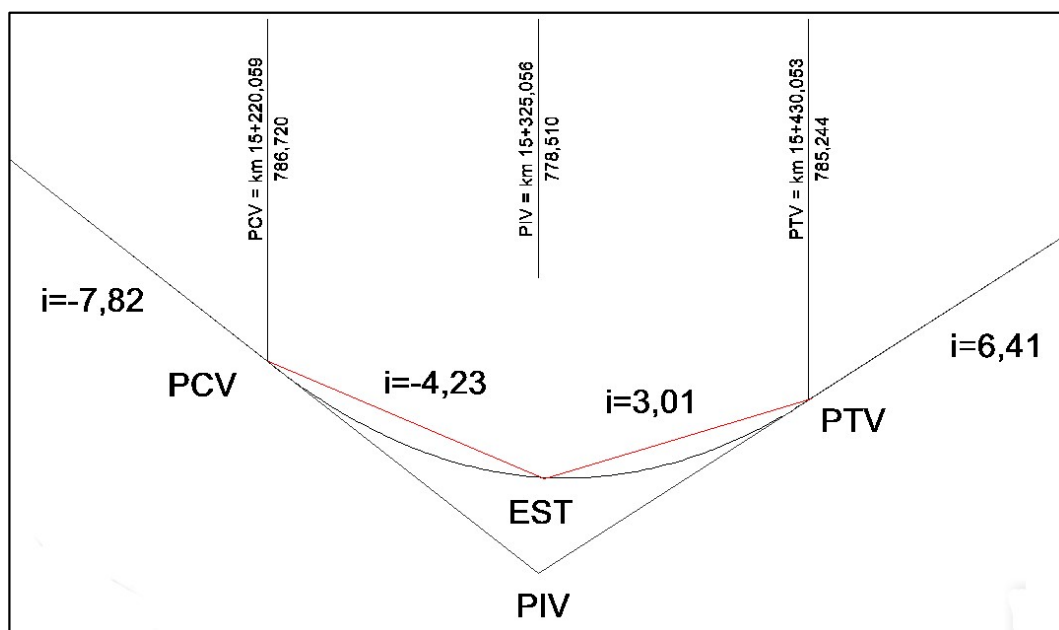
i = simplificação para declividade em curva vertical (%)

$ESTc$ = cota da estaca do centro da curva vertical (m)

$PCVc$ = cota do PCV (m)

$X1$ = projeção anterior da parábola (m)

Figura 16 - Simplificação do valor de declividades em curva vertical



(fonte: elaborado pelo autor.)

3.1.6 Estruturação da base de dados

O objetivo dessa etapa é construir uma base de dados que contenha, conjuntamente, os dados de acidentes e os parâmetros geométricos de cada curva, de modo a obter relações entre os dois. O processo envolve a obtenção das informações relativas à geometria de todas as curvas, e após,

das informações relativas apenas à geometria das curvas com acidentes, conforme descrito a seguir.

3.1.6.1 Geometria de todas as curvas

A primeira parcela da base de dados se refere aos parâmetros geométricos de todas as 729 curvas dos trechos estudados, inclusive as que não possuem acidentes registrados. Os parâmetros ângulo central, declividade, desenvolvimento, raio e superelevação são obtidos pelo procedimento descrito na subseção 3.1.5. A declividade, no entanto, é calculada por média ponderada, de modo a obter uma única declividade por curva horizontal.

3.1.6.2 Geometria das curvas com acidentes

Os parâmetros ângulo central, declividade, desenvolvimento, raio e superelevação são obtidos para cada curva horizontal, conforme processo descrito na subseção 3.1.5. Esses parâmetros são incorporados à base de dados da Polícia Rodoviária Federal, que contém as informações: data, dia da semana, horário, uf, rodovia, quilômetro, severidade, fase do dia, sentido da via, condição meteorológica, tipo de pista, traçado da via, uso do solo, ano, pessoas envolvidas, mortos, feridos graves, feridos leves, ilesos e veículos envolvidos.

3.2 MODELAGEM ESTATÍSTICA

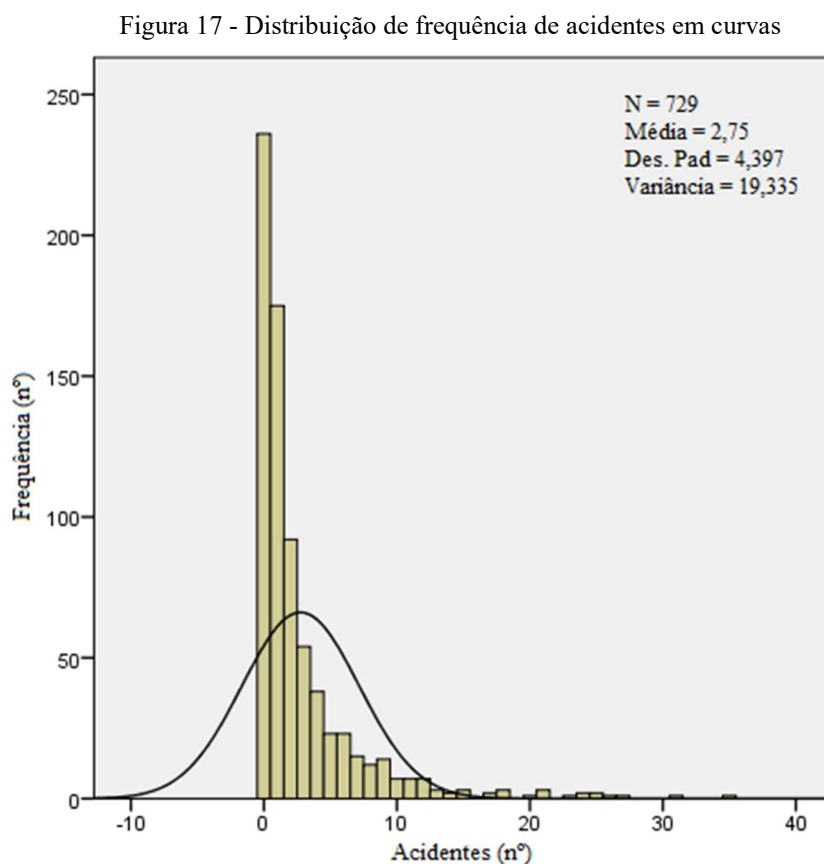
Nesta seção estão dispostos os procedimentos metodológicos para a estimação dos modelos de frequência e severidade de acidentes, pela aplicação do modelo Binomial Negativo e *Logit* Ordenado, respectivamente.

O primeiro passo no processo de modelagem é a definição das variáveis candidatas ao modelo, que no caso da metodologia empregada anteriormente, foram obtidas a partir dos dados disponíveis e revisão da literatura. A partir da definição das variáveis candidatas é necessário verificar a existência de multicolinearidade, que ocorre quando algumas variáveis independentes estão correlacionadas com outras variáveis independentes. A presença de multicolinearidade pode ter efeitos tanto sobre a habilidade preditiva do modelo de regressão, como sobre a estimação dos coeficientes de regressão e seus testes de significância estatística (HAIR *et al.*, 2009).

A multicolinearidade foi avaliada utilizando-se do fator de inflação da variância (VIF), que traduz o valor de tolerância, o qual expressa diretamente o grau de multicolinearidade em um impacto sobre o processo de estimação. Um valor de VIF igual a 1 indica a inexistência de multicolinearidade e valores de VIF maiores que 10 indicam multicolinearidade elevada, geralmente utilizados como valores de corte (HAIR *et al.*, 2009).

3.2.1 Modelo de frequência de acidentes

Para a estimação do modelo de frequência de acidentes, é necessário identificar o modelo que mais se adequa para os dados disponíveis. Quando a distribuição de frequência dos acidentes não verifica as hipóteses de normalidade, demonstra assimetria na distribuição, analisa-se a dispersão da distribuição (MCCULLANGH; NELDER, 1989). A análise da superdispersão deve ser realizada, e se confirmada a hipótese de média inferior à variância, é indicada a aplicação do modelo Binomial Negativo (GREENE, 2012), conforme Figura 17:



(fonte: elaborado pelo autor.)

O modelo Binomial Negativo é expresso pela generalização do modelo de Poisson:

$$\ln(\mu_i) = \sum_j \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i = \ln(\lambda_i) + \ln(u_i) \quad (4)$$

Onde:

x_{ij} = variáveis explicativas

β_j = parâmetros estimados,

ε_i = termo de erro da distribuição Gamma.

A função de ligação é dada pela distribuição de Poisson:

$$\lambda_i = \exp(\sum_j \beta_j x_{ij}) \quad (5)$$

Onde:

λ_i = número esperado de acidentes.

A estimação do modelo foi realizada no software *IBM SPSS Statistics 23*, utilizando a técnica de eliminação regressiva (*backward elimination*). Apesar do modelo Binomial Negativo permitir identificar as variáveis significativas e suas influências na frequência de acidentes, a variedade das grandezas pode dificultar a compreensão dos resultados. A comparação da magnitude do impacto de cada variável no respectivo modelo pode ser obtida pelo cálculo do efeito marginal (HILBE, 2011), dado pela Equação 6 a seguir. Os efeitos marginais foram obtidos por enumeração amostral para os efeitos calculados sobre as observações.

$$\partial E(y|x_{ij})/\partial x = \beta_{ij}[\exp(x_{ij}\beta_j)] \quad (6)$$

Onde:

x_{ij} = variável explicativa;

y = variável dependente;

β = vetor de coeficientes de regressão.

O incremento das variáveis, cuja metodologia de obtenção produziu apenas variáveis contínuas, foi estabelecido como 10% da média de todos os valores existentes de cada uma.

3.2.2 Modelo de severidade de acidentes

Para a construção do modelo de severidade de acidentes, foi estimado o modelo *Logit* Ordenado, o qual é um modelo de escolha discreta, onde a variável dependente severidade é discreta e seus valores traduzem uma ordenação. (SMALL, 1987). O modelo assume que a variável latente y_i^* é uma combinação linear de um conjunto de variáveis explicativas (GREENE; HENSHER, 2009), onde os parâmetros β' são estimados pelo método de máxima verossimilhança, que busca maximizar a função:

$$y_i^* = \beta' x_i + \varepsilon_i \quad (8)$$

Onde:

y_i^* = variável latente

x = vetor de atributos observáveis que determinam a ordem discreta de cada evento;

β' = vetor de parâmetros estimados.

A variável dependente severidade (y_i) assume os valores 1, 2, 3 e 4 para danos materiais, feridos leves, feridos graves e vítimas fatais, respectivamente, segundo:

$$y_i = 1 \text{ se } -\infty < y_i^* \leq \mu_1$$

$$y_i = 2 \text{ se } \mu_1 < y_i^* \leq \mu_2$$

$$y_i = 3 \text{ se } \mu_2 < y_i^* \leq \mu_3$$

$$y_i = 4 \text{ se } \mu_3 < y_i^* \leq +\infty$$

No modelo *Logit* Ordenado estima-se a probabilidade generalizada do acidente estar em determinada categoria m , conforme equações 8 a 11:

$$P(y_i = 1) = L(\mu_1 - \beta' x_i) \quad (8)$$

$$P(y_i = 2) = L(\mu_2 - \beta' x_i) - L(\mu_1 - \beta' x_i) \quad (9)$$

$$P(y_i = 3) = L(\mu_3 - \beta' x_i) - L(\mu_2 - \beta' x_i) \quad (10)$$

$$P(y_i = 4) = 1 - L(\mu_3 - \beta' x_i) \quad (11)$$

$$L(\beta'x) = \frac{e^{\beta'x_i}}{1+e^{\beta'x_i}} \quad (12)$$

Onde:

L = distribuição logística acumulada;

μ_m = pontos de corte;

x = vetor de atributos observáveis que determinam a ordem discreta de cada evento;

β' = vetor de parâmetros estimados.

O modelo *Logit* ordenado foi estimado por eliminação regressiva (*backward elimination*) no software *Biogeme*, eliminando da análise a variável com maior valor p . O ajuste geral do modelo foi avaliado através do teste da razão de verossimilhança, que demonstra que o modelo obtido é estatisticamente significativo (p -valor $< 0,05$), para o nível de significância de 5%, que indica que a variável independente é significativa ao nível de confiança de 95%. A medida de ajuste geral do modelo é expressa pelo valor de Pseudo- R^2 (entre 0 e 1, em que 1 significa ajuste exato), no qual valores próximos a 0,4 podem ser considerados bons ajustes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

O sinal dos coeficientes estimados para as variáveis indica o impacto positivo ou negativo na severidade dos acidentes, porém, esses coeficientes devem ser interpretados com cuidado. Para permitir a comparação da importância das variáveis explicativas com diferentes escalas de medidas foram calculados os efeitos marginais das variáveis dependentes em relação às variáveis explicativas. No modelo *Logit* ordenado o cálculo de efeitos marginais é estritamente necessário para a compreensão do efeito das estimativas dos parâmetros individuais. Nesse modelo, o efeito marginal da probabilidade de um acidente ter uma severidade m em relação a uma variável x foi calculado pela equação 13 (GREENE, 2012):

$$P(y_i = m)/\partial x = [L(\mu_m - \beta'x_i) - L(\mu_{m-1} - \beta'x_i)]\beta \quad (13)$$

Para as variáveis contínuas o efeito foi calculado pelo incremento de 10% da média das observações, para variáveis discretas pelo incremento de uma unidade. Para variáveis *dummy*, tal relação não faria sentido (GREENE, 2012). Assim, o efeito marginal foi calculado como a diferença de probabilidade para x_i , (que é a variável *dummy*) assumindo os valores 0 e 1, conforme Equação 14:

$$x_i = P(y_i = m)|x_i = 1 - P(y = m)|x_i = 0 \quad (14)$$

Valores positivos de β' indicam que um aumento em x_i gerará claramente o aumento (respectivamente, redução) da probabilidade da severidade mais alta (respectivamente, menor). No entanto, não é óbvio o efeito que um valor positivo ou negativo de β' gerará nas probabilidades dos níveis intermediários (MANNERING; BHAT, 2014).

4 ESTUDO DA BR 116

Neste capítulo foram aplicados os procedimentos metodológicos dispostos no capítulo anterior, mantendo a mesma organização textual e divisão em duas seções, sendo a primeira relativa a base de dados construída e a segunda relativa a modelagem estatística.

4.1 RESULTADOS DA CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

Nessa subseção estão dispostos os resultados de todos os procedimentos metodológicos propostos na seção 3.1. Também são realizadas as primeiras análises sobre os acidentes considerados, e sobre o cruzamento desses com os parâmetros geométricos, de modo a obter uma ideia inicial dos resultados esperados na modelagem estatística posterior.

4.1.1 Resultado da reconstituição geométrica

Os segmentos do estudo em questão foram reconstituídos por meio de levantamento de coordenadas georreferenciadas, utilizando GPS, disponibilizado pela *STE Engenharia*. O levantamento disponibilizado é oriundo do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária (BR-LEGAL), sendo composto de pontos com espaçamento entre 5 e 6 metros, em ambos os sentidos da rodovia. Esse levantamento incluía toda a extensão da BR-116 no estado do Rio Grande do Sul, onde a partir desse universo limitou-se o estudo para segmentos de pista simples e região montanhosa, de modo a realizar as análises em segmentos mais homogêneos possíveis. Essa delimitação, após a exclusão dos trechos em pista dupla, e da região em relevo plano, resultou em 12 trechos de pista simples, com um total de 225 quilômetros, e 2007 acidentes registrados dos tipos saída de pista, tombamento, capotamento e colisão com objeto fixo. Os segmentos foram então divididos em trechos, conforme SNV vigente, disposto no Quadro 5.

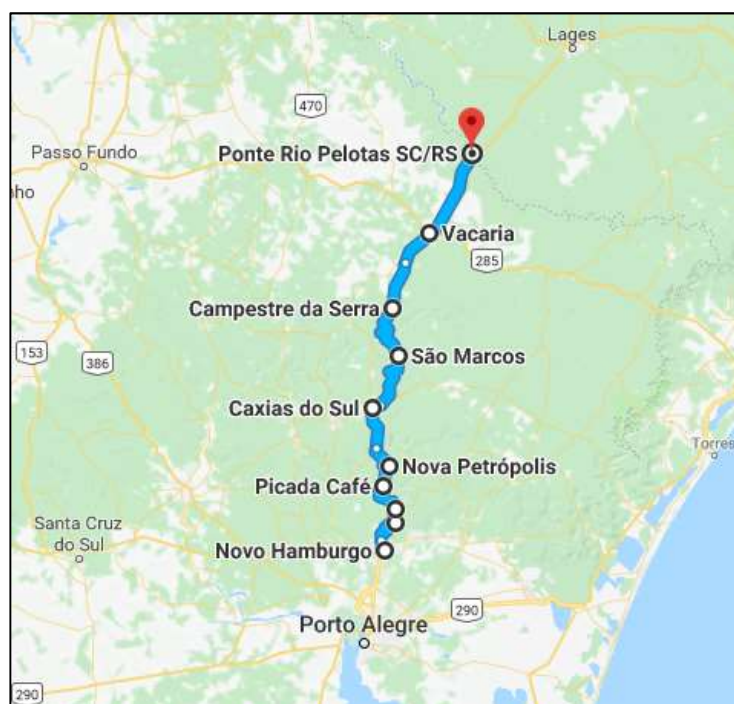
Quadro 5 - SNV Atual dos trechos em análise

BR		UF	Tipo de trecho	Código	Local de Início	Local de Fim	km inicial	km final	Extensão	Superfície Federal
116	RS		Eixo Principal	116BRS3010	DIV SC/RS	ENTR BR-285(A)	0	37,3	37,3	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3020	ENTR BR-285(A)	ENTR BR-285(B)	37,3	38,5	1,2	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3030	ENTR BR-285(B)	ENTR RS-122	38,5	57,4	18,9	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3050	ENTR RS-122	ENTR RS-437	57,4	79,5	22,1	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3070	ENTR RS-437	SÃO MARCOS	79,5	115	35,5	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3080	SÃO MARCOS	ENTR RS-230	115	142	27	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3110	FIM DE PISTA DUPLA	ENTR RS-452	152,1	171,8	19,7	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3130	ENTR RS-452	ENTR RS-235	171,8	183,8	12	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3150	ENTR RS-235	P/PICADA CAFÉ	183,8	194,6	10,8	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3160	P/PICADA CAFÉ	ENTR RS-373	194,6	214,8	20,2	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3165	ENTR RS-373	ENTR RS-326	214,8	230,5	15,7	PAV
116	RS		Eixo Principal	116BRS3168	ENTR RS-326	ENTR RS-239	230,5	234,7	4,2	PAV

(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.)

Na Figura 18 a seguir é possível visualizar toda a extensão da rodovia em estudo, que compreende as cidades de Vacaria, Campestre da Serra, São Marcos, Caxias do Sul, Nova Petrópolis, Picada Café, Morro Reuter, Dois Irmãos, Ivoti, Estância Velha e Novo Hamburgo, no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 18 - Mapa de localização dos trechos estudados



(fonte: elaborado pelo autor.)

4.1.2 Resultado do ajuste pelo Sistema Nacional de Viação

Após realizado a reconstituição geométrica dos trechos em estudo, foram verificados os erros relativos as quilometragens de início e fim de cada trecho, comparando os valores resultantes da reconstituição geométrica com os valores apresentados pelo SNV, conforme disposto no capítulo anterior. A tabela resultante dessa análise é apresentada no Quadro 6:

Quadro 6 - Erro da quilometragem entre SNV e reconstituição geométrica

Código do trecho	Km inicial SNV	Km inicial geometria	Erro km inicial	Km final SNV	Km final geometria	Erro km final
116BRS3010	0,0	0,000	0,000	37,3	37,257	0,043
116BRS3030	38,5	38,487	0,013	57,4	57,364	0,036
116BRS3050	57,4	57,364	0,036	79,5	79,476	0,024
116BRS3070	79,5	79,476	0,024	115,0	115,007	-0,007
116BRS3080	115,0	115,007	-0,007	142,0	142,019	-0,019
116BRS3110	152,1	152,108	-0,008	171,8	171,803	-0,003
116BRS3130	171,8	171,803	-0,003	183,8	183,722	0,078
116BRS3150	183,8	183,722	0,078	194,6	194,525	0,075
116BRS3160	194,6	194,525	0,075	214,8	214,330	0,470
116BRS3165	214,8	214,330	0,470	230,5	230,229	0,271
116BRS3168	230,5	230,229	0,271	234,7	234,489	0,211

(fonte: elaborado pelo autor.)

Os erros encontrados são pequenos quando comparados com a extensão de cada trecho, estando em sua maioria com valores menores que 50 m. O erro aumenta a partir do trecho 150, se tornando maior que a margem de erro da localização dos acidentes, que é de 100 metros.

4.1.3 Resultado do ajuste pelos marcos quilométrico

Conforme disposto no capítulo anterior, é necessária a verificação do erro existente na comparação entre geometria da rodovia e a localização dos marcos quilométricos. No Quadro 7 são apresentados os valores de erros resultantes desta verificação. É possível perceber que os erros existentes aumentam na medida que a quilometragem da rodovia aumenta, chegando no último trecho a um erro de 725 metros, o que torna inviável qualquer tipo de análise.

Quadro 7 - Erro da quilometragem entre reconstituição geométrica e marcos quilométricos

Código do trecho	Km do marco no início do trecho	Km da geometria na posição do marco inicial	Erro início do trecho (km)	Km do marco no fim do trecho	Km da geometria na posição do marco final	Erro fim do trecho (km)
116BRS3010	1	1,000	0,000	36	35,998	-0,002
116BRS3030	41	41,048	0,048	57	57,026	0,026
116BRS3050	58	58,039	0,039	79	79,015	0,015
116BRS3070	80	80,050	0,050	114	113,978	-0,022
116BRS3080	117	116,958	-0,042	142	141,952	-0,048
116BRS3110	154	153,896	-0,104	171	170,838	-0,162
116BRS3130	172	171,827	-0,173	182	181,798	-0,202
116BRS3150	185	184,560	-0,440	194	193,561	-0,439
116BRS3160	195	194,525	-0,475	214	213,450	-0,550
116BRS3165	215	214,356	-0,644	230	229,260	-0,740
116BRS3168	231	230,275	-0,725	235	234,397	-0,603

(fonte: elaborado pelo autor.)

Tendo em vista que o erro encontrado continua relevante, inclusive aumentando, trabalhou-se com cada trecho isoladamente, conforme processo descrito no capítulo anterior. Os erros encontrados estão dispostos no Quadro 8.

Quadro 8 - Correção do erro na quilometragem

Código do trecho	Km do marco no início do trecho	Km da geometria na posição do marco inicial	Erro início do trecho (km)	Km do marco no fim do trecho	Km da geometria na posição do marco final	Erro fim do trecho(km)
116BRS3010	1	1	0,000	36	36,002	0,002
116BRS3030	41	41	0,000	57	57,022	0,022
116BRS3050	58	58	0,000	79	79,024	0,024
116BRS3070	80	80	0,000	114	113,928	-0,072
116BRS3080	117	117	0,000	142	142,004	0,004
116BRS3110	154	154	0,000	171	170,940	-0,060
116BRS3130	173	173	0,000	182	181,963	-0,037
116BRS3150	185	185	0,000	194	193,998	-0,002
116BRS3160	195	195	0,000	214	213,925	-0,075
116BRS3165	215	215	0,000	230	229,914	-0,086
116BRS3168	231	231	0,000	235	235,120	0,120

(fonte: elaborado pelo autor.)

Os erros encontrados foram significativamente inferiores com a execução desse procedimento, tendo apenas o último trecho um erro superior a 100 metros. Apesar de os erros pequenos, optou-se por dividir os trechos que obtiveram erro superior a 50 metros, de forma a dissipar esse erro em dois novos trechos. Este procedimento não foi realizado apenas no trecho 116BRS3168, devido a sua baixa extensão e reduzido número de acidentes.

Os trechos com mais de 50 metros de erro foram divididos aproximadamente na metade, utilizando como referência o marco quilométrico mais próximo, seguindo o procedimento realizado anteriormente. Os valores resultantes estão dispostos no Quadro 9:

Quadro 9 - Redução do erro existente após correção

Código do trecho	Km do marco no início do trecho	Km da geometria na posição do marco inicial	Erro início do trecho (km)	Km do marco no fim do trecho	Km da geometria na posição do marco final	Erro fim do trecho (km)
116BRS3010	1	1	0,000	36	36,002	0,002
116BRS3030	41	41	0,000	57	57,022	0,022
116BRS3050	58	58	0,000	79	79,024	0,024
116BRS3070 A	80	80	0,000	97	96,973	-0,027
116BRS3070 B	97	97	0,000	114	114,042	0,042
116BRS3080	117	117	0,000	142	142,004	0,004
116BRS3110 A	154	154	0,000	162	162,038	0,038
116BRS3110 B	162	162	0,000	171	171,022	0,022
116BRS3130	173	173	0,000	182	181,963	-0,037
116BRS3150	185	185	0,000	194	193,998	-0,002
116BRS3160 A	195	195	0,000	204	204,047	0,047
116BRS3160 B	204	204	0,000	214	214,023	0,023
116BRS3165 A	215	215	0,000	228	228,040	0,040
116BRS3165 B	228	228	0,000	230	230,046	0,046
116BRS3168	231	231	0,000	235	235,120	0,120

(fonte: elaborado pelo autor.)

4.1.4 Resultado da obtenção da classe e relevo da rodovia

Essa análise resultou no primeiro trecho como rodovia de classe II em região montanhosa, enquanto os trechos restantes como rodovia de classe III em região montanhosa, conforme disposto no Quadro 10 a seguir. Como a maioria dos trechos possui a mesma classe, a superelevação será proporcional ao raio da curva de concordância horizontal, o que limitará as análises futuras.

Quadro 10 - Valores limites para os trechos estudados

Trecho	raio mínimo	k mínimo	i máximo
10	110	11,97	6,48
30	100	8,60	-7,85
50	80	9,22	-7,78
70	45	-5,12	-9,14
80	60	-5,72	-7,86
110	50	1,34	-9,09
130	60	1,49	15,90
150	64	2,95	-9,13
160	73	-1,66	10,84
165	70	-1,80	-13,23

168	95	9,95	9,31
-----	----	------	------

(fonte: elaborado pelo autor.)

4.1.5 Resultado da estruturação da base de dados

A base de dados foi estruturada conforme disposto no capítulo anterior, sendo composta de 729 curvas de concordância horizontal e 2007 acidentes. Nos quadros 11 e 12 abaixo estão dispostos exemplos da configuração final da base de dados construída, contendo para cada um dos 2007 acidentes, sua localização, curva, parâmetros geométricos e outras características disponíveis na base de dados da Polícia Rodoviária Federal. Os relatórios planimétricos e altimétricos do trecho 116BRS3010, utilizados na extração dos parâmetros geométricos do mesmo, estão disponíveis nos Apêndices A e B.

Quadro 11 – Exemplo da base de dados construída com os parâmetros geométricos

id	km	Curva	Ângulo Central	Desenvolvimento	Declividade Absoluta	Superelevação	Raio
984617	42,7	44	37,0453	129,3120	5,26%	3,50%	200
1174959	43,0	45	52,9467	184,8190	0,29%	3,50%	200
83235769	43,0	45	52,9467	184,8190	0,29%	3,50%	200
83056340	43,2	45	52,9467	184,8190	4,66%	3,50%	200
83349797	43,2	45	52,9467	184,8190	4,66%	3,50%	200
83361759	43,3	45	52,9467	184,8190	6,11%	3,50%	200
358747	43,3	45	52,9467	184,8190	6,11%	3,50%	200
300464	43,5	45	52,9467	184,8190	0,15%	3,50%	200
179428	44,9	46	47,3775	214,9920	3,76%	2,78%	260
175536	45,0	46	47,3775	214,9920	6,28%	2,78%	260
83056347	45,0	46	47,3775	214,9920	6,28%	2,78%	260
192144	45,3	47	54,0036	141,3810	6,28%	4,44%	150
295908	45,3	47	54,0036	141,3810	6,28%	4,44%	150
730672	45,3	47	54,0036	141,3810	6,28%	4,44%	150
83137165	45,3	47	54,0036	141,3810	6,28%	4,44%	150

(fonte: elaborado pelo autor.)

Quadro 12 – Exemplo da base de dados construída com as características dos acidentes

id	Active/Declive	Causa	Tipo	Classificação	Fase do dia	Condição meteorológica
984617	Active	Velocidade	Saída de Pista	Com Vítimas Fatais	Plena noite	Nublado
1174959	Active	Velocidade	Saída de Pista	Sem Vítimas	Pleno dia	Nevoeiro/neblina
83235769	Declive	Velocidade	Saída de Pista	Sem Vítimas	Plena noite	Céu Claro
83056340	Declive	Outras	Saída de Pista	Sem Vítimas	Plena noite	Neve
83349797	Declive	Velocidade	Tombamento	Sem Vítimas	Amanhecer	Nublado

83361759	Declive	Ingestão de álcool	Tombamento	Sem Vítimas	Anoitecer	Céu Claro
358747	Declive	Ingestão de álcool	Colisão com objeto fixo	Sem Vítimas	Plena noite	Céu Claro
300464	Aclive	Velocidade	Saída de Pista	Com Vítimas Feridas	Pleno dia	Nublado
179428	Aclive	Falta de atenção	Saída de Pista	Com Vítimas Feridas	Pleno dia	Céu Claro
175536	Declive	Velocidade	Saída de Pista	Sem Vítimas	Anoitecer	Chuva
83056347	Aclive	Outras	Saída de Pista	Sem Vítimas	Plena noite	Neve
192144	Aclive	Velocidade	Saída de Pista	Sem Vítimas	Pleno dia	Nublado
295908	Aclive	Outras	Saída de Pista	Sem Vítimas	Pleno dia	Chuva
730672	Aclive	Velocidade	Saída de Pista	Sem Vítimas	Pleno dia	Chuva
83137165	Aclive	Velocidade	Saída de Pista	Sem Vítimas	Plena noite	Céu Claro

(fonte: elaborado pelo autor.)

4.1.6 Parâmetros fora de norma

Após a obtenção da classe e relevo da rodovia, verificou-se a existência de pontos fora de norma, sendo observado segmentos com declividade maior que 8%, curvas verticais com parâmetro k menor que 5 ou 7, e a curva horizontal 216 com valor de raio de 45 metros, não recomendadas segundo o Manual de Projeto Geométrico do DNER (1999). As curvas verticais com declividade e k fora de norma estão dispostas nos Quadros 13 e 14, respectivamente:

Quadro 13 - Declividades fora de norma

Curva Vertical	Declividade Posterior	Curva Vertical	Declividade Posterior
239	-9,15%	532	-9,39%
247	8,43%	537	-8,98%
368	-9,09%	542	-10,25%
381	8,67%	549	-9,14%
399	-8,44%	564	-10,21%
402	-8,11%	599	8,81%
447	8,99%	604	10,85%
450	8,23%	609	9,16%
458	9,46%	616	9,77%
463	-9,57%	672	9,81%
465	9,90%	673	8,84%
474	8,33%	675	-13,23%
482	12,89%	677	-10,29%
486	10,97%	679	-11,10%
488	15,90%	685	-8,84%
490	9,87%	688	-8,96%
492	11,13%	690	-12,59%
508	8,37%	693	-10,04%
510	8,23%	709	-8,13%
514	9,48%	745	-9,31%

(fonte: elaborado pelo autor.)

Quadro 14 - Parâmetros k fora de norma

Curva Vertical	Parâmetro k	Curva Vertical	Parâmetro k	Curva Vertical	Parâmetro k	Curva Vertical	Parâmetro k
362	-4,92	463	-2,28	498	-1,61	600	-3,07
375	4,86	464	2,35	499	4,21	604	2,48
376	3,82	465	1,96	504	4,08	605	-2,54
377	-2,53	466	-3,10	506	3,71	609	4,51
381	1,34	472	4,34	508	3,15	610	-1,66
382	-4,94	474	2,16	510	2,20	611	2,32
389	6,10	475	-3,83	511	-4,90	617	-2,61
397	-4,04	476	6,16	512	6,36	618	3,12
423	6,38	482	1,73	514	3,57	672	1,39
424	2,00	483	-2,28	524	6,09	674	-4,51
425	-3,55	486	1,93	542	-3,61	675	-1,89
426	1,49	487	-1,74	543	4,71	676	1,18
427	-3,80	488	1,59	547	-4,13	677	-1,80
447	5,15	489	-3,66	548	2,95	679	-4,83
451	-3,02	490	2,91	565	4,40	680	4,80
452	3,34	491	-3,58	578	5,38	690	-3,05
457	-3,24	492	2,08	581	-4,61	691	5,61
458	2,53	493	-1,68	590	4,00	725	2,89
459	-3,36	496	-4,76	597	5,60		
462	-1,70	497	4,82	599	5,92		

(fonte: elaborado pelo autor.)

Tendo em vista que no processo de reconstituição geométrica foram utilizadas curvas circulares simples como simplificação, a ausência do comprimento necessário para distribuição da superelevação não foi considerada como fora de norma.

4.1.7 Características dos acidentes

A base de dados de acidente disponibilizada pela Polícia Rodoviária federal para os trechos em estudo possui 8025 acidentes, entre os anos de 2007 e 2016. Destes acidentes 912 (11,36%) são em cruzamentos, 3627 (45,20%) em reta, 3486 (43,44%) em curva. Destes acidentes, 2765 (34,45%) são do tipo capotamento, colisão com objeto fixo, saída de pista e tombamento, onde 65 (2,35%) são em cruzamento, 693 (25,06%) são em reta e 2007 (72,59%) em curva. Além disso, apesar de maior número de acidentes em curvas, 65% da extensão dos trechos estudados são em reta, demonstrando a importância de um bom projeto geométrico de curvas para diminuir a quantidade e gravidade desses tipos de acidentes. A Tabela 3 a seguir apresenta resumidamente as informações descritas nesse parágrafo.

Tabela 3 - Acidentes em cruzamento, reta ou curva

Acidentes	Todos os tipos	Presente estudo
Cruzamento	912 (11.4%)	65 (2.4%)
Reta	3627 (45.2%)	693 (25.1%)
Curva	3486 (43.4%)	2007 (72.6%)
Total	8025 (100%)	2765 (100%)

(fonte: elaborado pelo autor.)

Analisando os 2007 acidentes que são considerados no estudo em questão, 113 (5,63%) são do tipo capotamento, 304 (15,15%) do tipo colisão com objeto fixo, 1279 (63,73%) do tipo saída de pista e 311 (15,50%) do tipo tombamento, conforme resume a Tabela 4:

Tabela 4 - Acidentes do estudo em questão por tipo

Tipo de acidente	
Capotamento	113 (5.6%)
Colisão frontal	304 (15.1%)
Tombamento	311 (15.5%)
Saída de pista	1279 (63.7%)
Total	2007 (100%)

(fonte: elaborado pelo autor.)

Como informação relevante para o estudo em questão temos a severidade dos acidentes, onde, entre os 2007 acidentes em estudo, 26 (1,29%) não possuem informação sobre vítimas, 53 (2,64%) acarretaram em vítimas fatais, 757 (37,72%) acarretaram em vítimas feridas, e 1171 (58,34%) não acarretaram em vítimas, conforme exposto na Tabela 5:

Tabela 5 - Acidentes do estudo em questão por severidade

Severidade do acidente	
Ignorado	26 (1.3%)
Vítimas fatais	53 (2.6%)
Vítimas feridas	757 (37.7%)
Sem vítimas	1171 (58.3%)
Total	2007 (100%)

(fonte: elaborado pelo autor.)

Outra informação que merece destaque na base de dados de acidentes é a causa dos acidentes segundo a policia rodoviária. Para os trechos em estudo a grande maioria dos acidentes (47,28%) apresenta como causa velocidade incompatível, conforme Tabela 6. Como é possível

perceber, não existe a indicação de parâmetros geométricos como causas de acidentes, pelo fato da influência desses parâmetros não ser explícita.

Tabela 6 - Acidentes do estudo em questão por causa

Causa do acidente	
Não guardar distância de segurança	2 (0.1%)
Animais	5 (0.2%)
Desobediência à sinalização	11 (0.5%)
Ultrapassagem indevida	12 (0.6%)
Defeito da via	31 (1.5%)
Dormindo	69 (3.4%)
Defeito mecânico	105 (5.2%)
Ingestão de álcool	128 (6.4%)
Falta de atenção	239 (11.9%)
Outras	456 (22.7%)
Velocidade incompatível	949 (47.3%)
Total	2007 (100%)

(fonte: elaborado pelo autor.)

Além dessas informações, a base de dados disponível apresenta também as informações data, dia da semana, horário, município, fase do dia, condição meteorológica e uso do solo, que serão utilizadas na análise da severidade de acidentes realizada posteriormente.

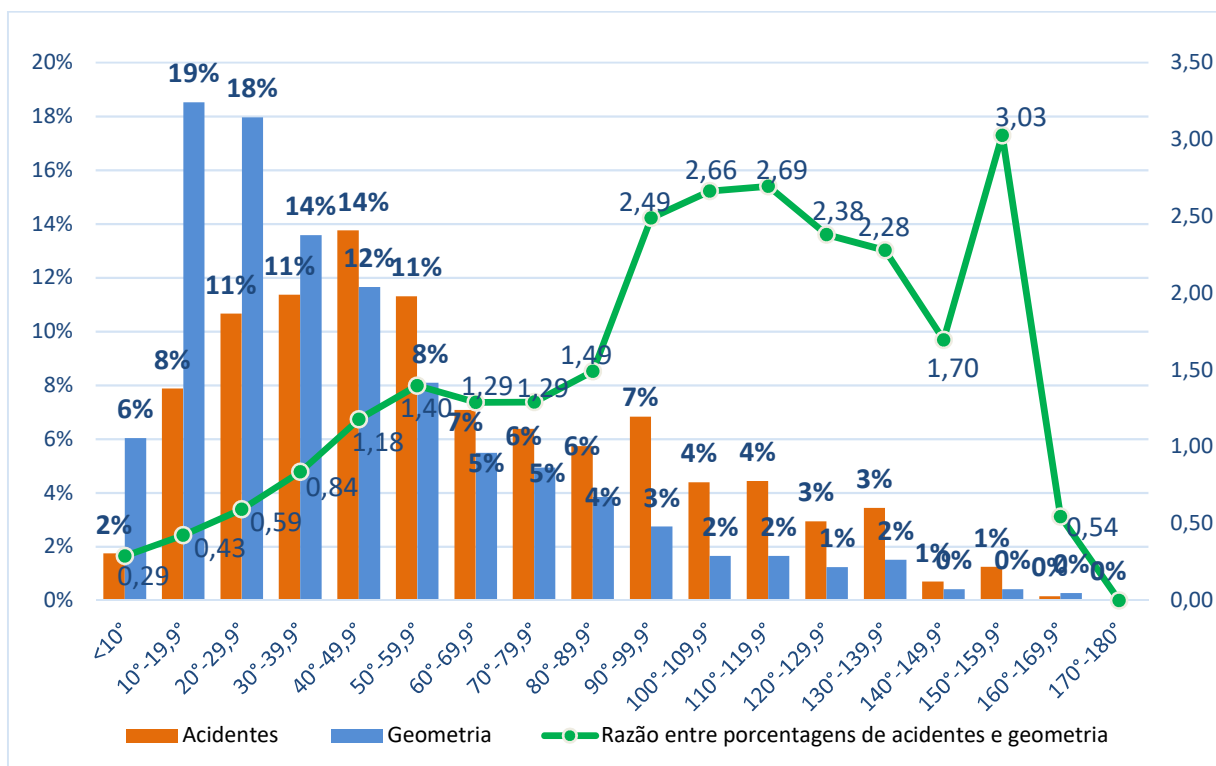
4.1.8 Acidentes e parâmetros geométricos

Nesta seção os acidentes foram analisados com cada um dos parâmetros geométricos separadamente, de modo a obter uma primeira ideia da relação existente entre as variáveis. Os resultados observados nessa seção servirão para corroborar os resultados da construção dos modelos de regressão no capítulo seguinte.

4.1.8.1 Acidentes versus Ângulo Central

Os acidentes analisados foram agrupados em faixas de ângulo central com 10 graus de intervalo e em seguida comparados com a quantidade de curvas existente no trecho estudado, também separadas por faixa de ângulo central. Os resultados estão dispostos em porcentagem, conforme Figura 19:

Figura 19 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Ângulo Central



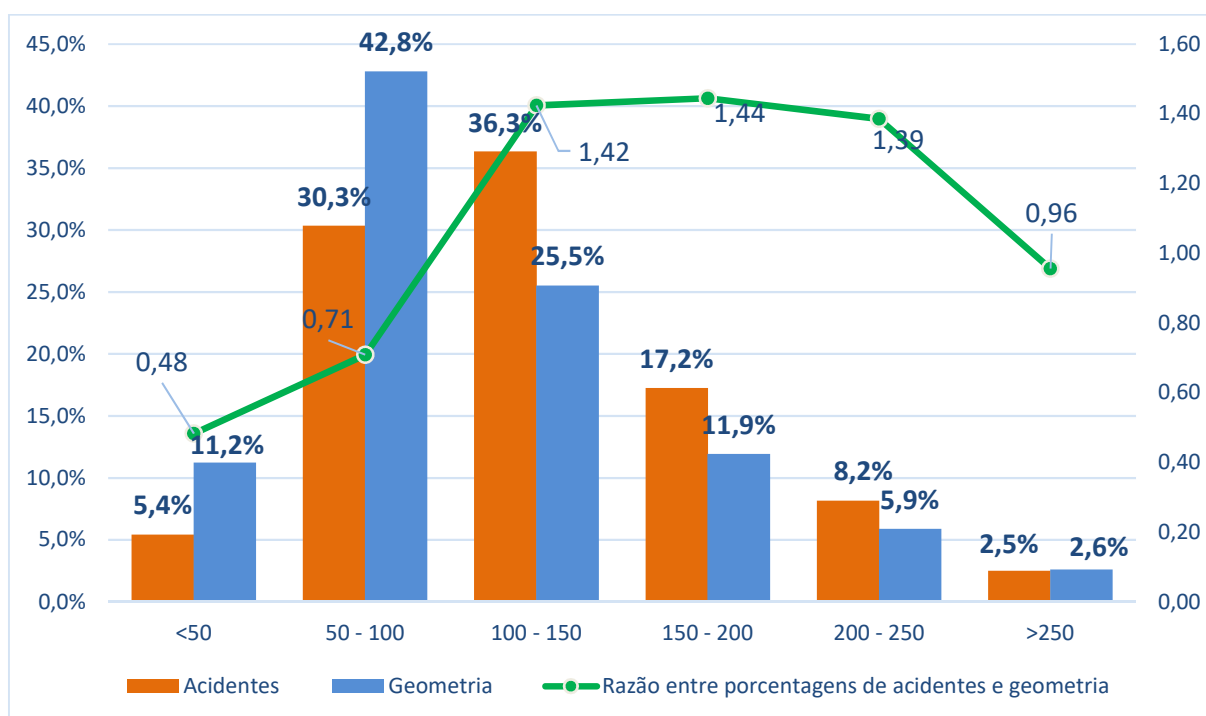
(fonte: elaborado pelo autor.)

Como é possível observar pelo gráfico anterior, segundo a linha contínua, uma razão entre geometria e acidentes maior que 1 representa faixas de geometria em situação mais crítica. Para o parâmetro Ângulo Central, essa situação acontece para faixas de valores superiores a 40 graus.

4.1.8.2 Acidentes versus Desenvolvimento

Os acidentes analisados foram agrupados em faixas de desenvolvimento, com 50 metros de intervalo e em seguida comparados com a quantidade de curvas existente no trecho estudado, também separadas por faixa de desenvolvimento, conforme processo descrito para o ângulo central e apresentado na Figura 20:

Figura 20 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Desenvolvimento



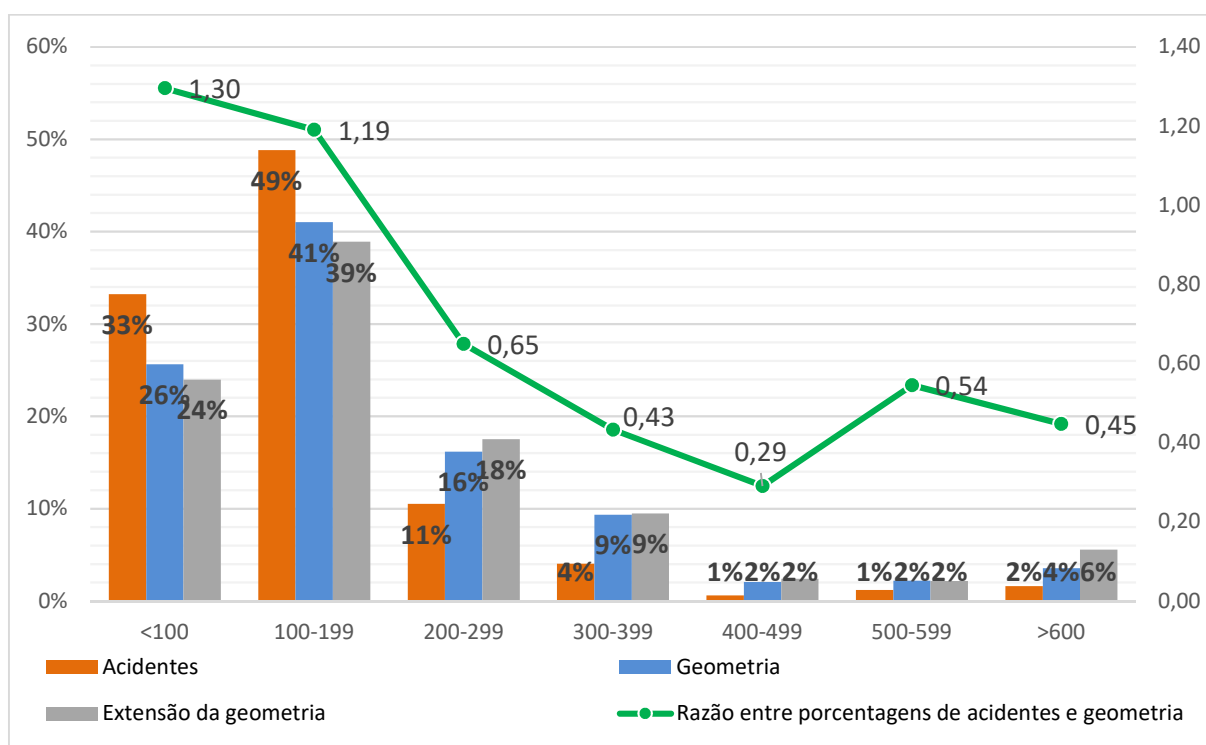
(fonte: elaborado pelo autor.)

Como é possível observar pelo gráfico anterior, segundo a linha contínua, uma razão entre geometria e acidentes maior que 1 ocorre em curvas com desenvolvimento maior que 100 metros.

4.1.8.3 Acidentes versus Raios

Os acidentes analisados foram agrupados em faixas de raio com 100 metros de intervalo e em seguida comparados com a quantidade de curvas existente no trecho estudado, também separadas por faixa de raios, conforme processo descrito para os parâmetros anteriores. Além disso, esses resultados foram comparados com as extensões das curvas de concordância horizontal, conforme Figura 21:

Figura 21 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Raios



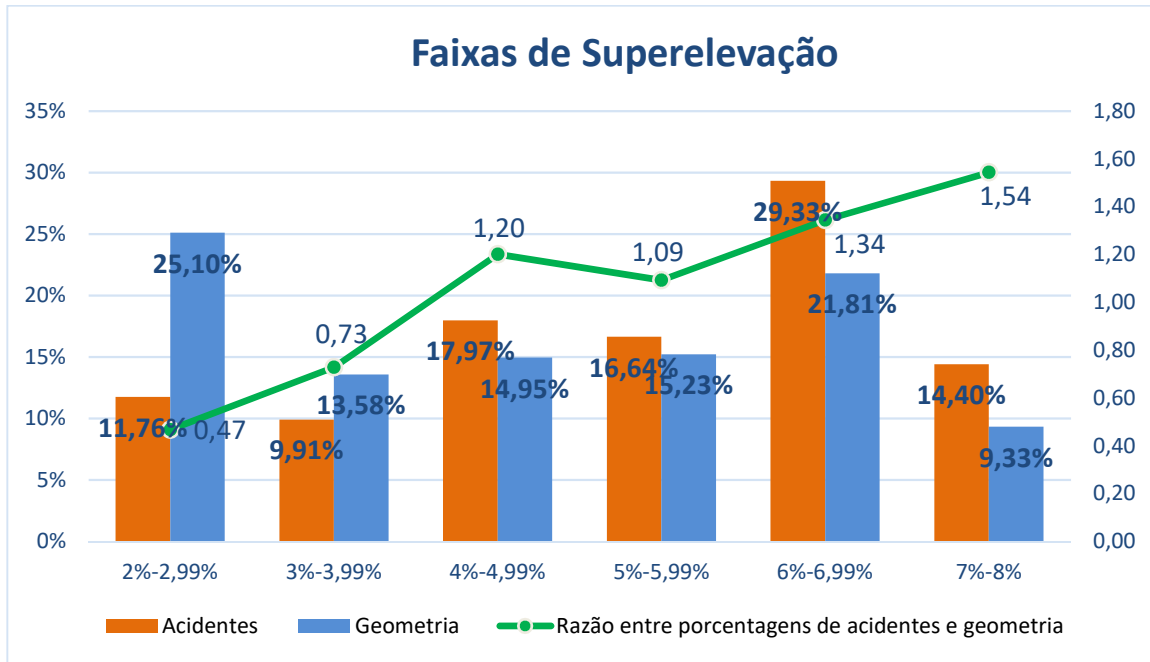
(fonte: elaborado pelo autor.)

Como é possível observar pelo gráfico anterior, uma razão entre geometria e acidentes maior que 1 ocorre em faixas de raios menores que 200 metros. A quantidade de curvas na rodovia e suas extensões também seguem essa tendência, mas em menor proporção, o que demonstra a periculosidade de curvas de pequeno raio.

4.1.8.4 Acidentes versus Superelevação

Tendo em vista que a superelevação é calculada em função do raio e da classe da rodovia, e que para simplificação a classe de todos os trechos foi considerada a mesma, Classe III, os resultados esperados são similares aos da análise dos raios, mas inversamente proporcionais, conforme Figura 22:

Figura 22 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Super elevação

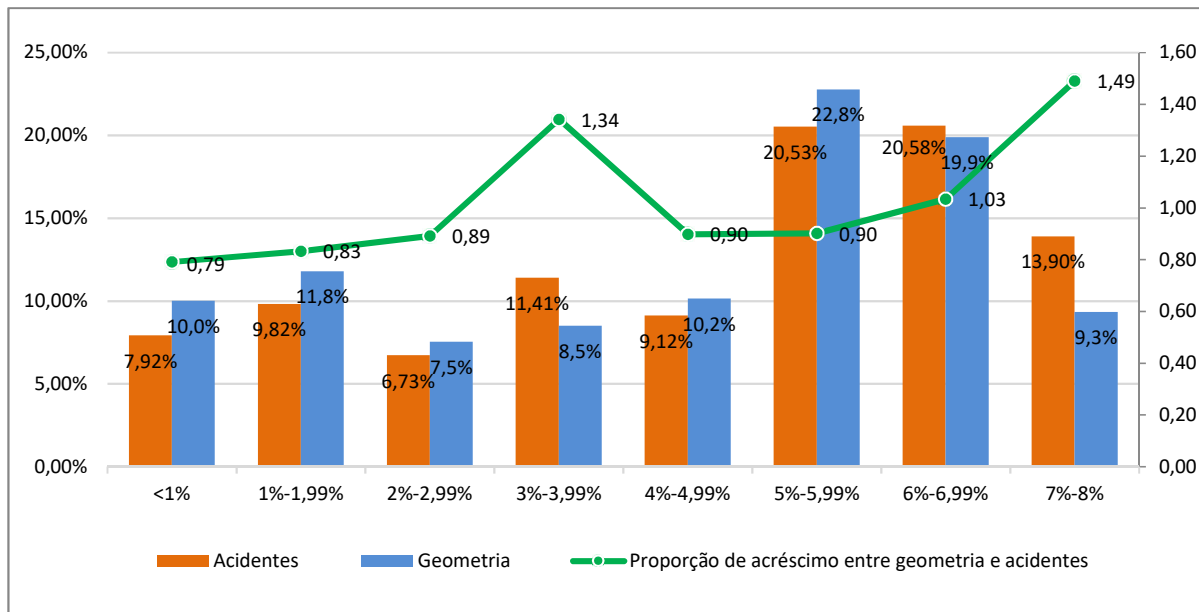


(fonte: elaborado pelo autor.)

4.1.8.5 Acidentes versus Declividade

A análise das declividades segue o procedimento das seções anteriores, dividindo os acidentes e a geometria em faixas de declividade de 1%, conforme Figura 23:

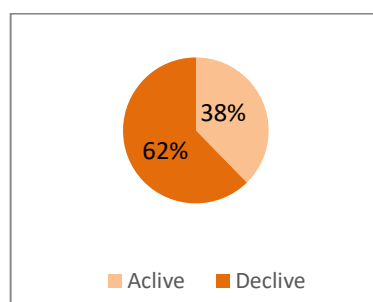
Figura 23 - Comparação entre acidentes e geometria por faixas de Declividade



(fonte: elaborado pelo autor.)

Pela existência da informação do sentido de ocorrência dos acidentes, foi possível determinar se o acidente ocorreu em acrive ou declive. A contagem do número de acidentes em acríves e declives resultou em 757 acidentes em acrive e 1250 acidentes em declive e, o que se traduz em 38% e 62%, respectivamente, conforme Figura 24:

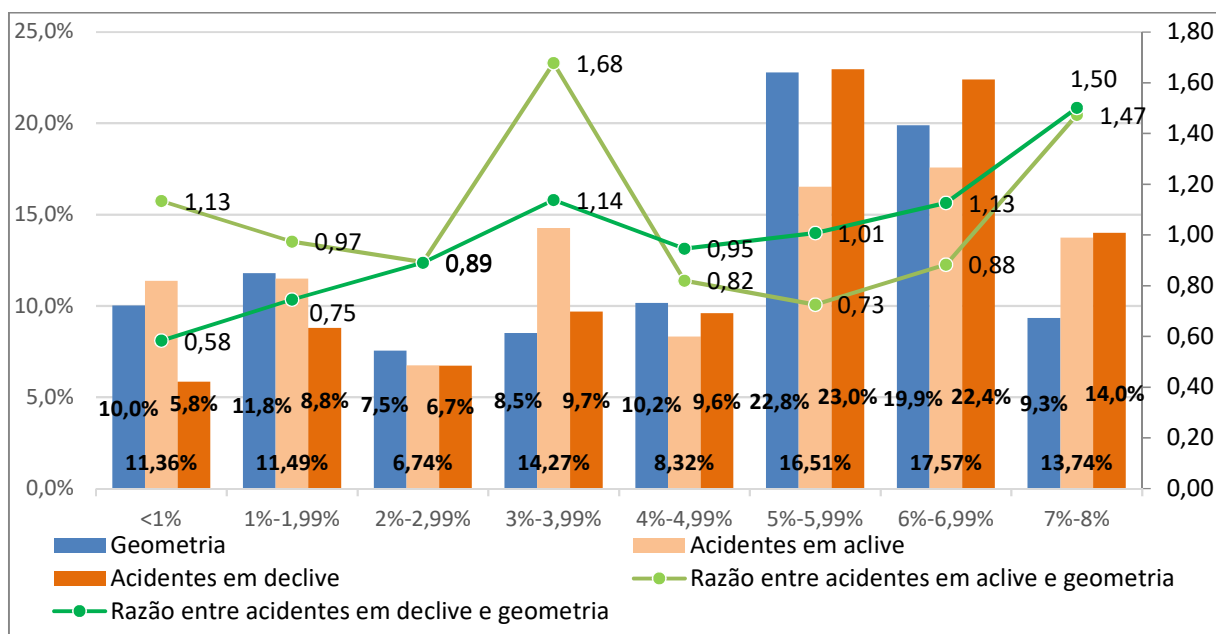
Figura 24 - Comparação da quantidade de acidentes em acrive e declive



(fonte: elaborado pelo autor.)

A Figura 25 a seguir indica a disposição dos acidentes por faixas de declividade em acríves ou declives. Percebe-se uma tendência mais clara de aumento da razão entre acidentes em declive e a geometria, o que representa uma maior ocorrência de acidentes em declives elevados do que em acríves elevados. Esses resultados convergem com os estudos de Eck e French (2002) e Torbick et al (2014), que consideram curvas em declives críticas, em função da redução da margem de segurança do atrito.

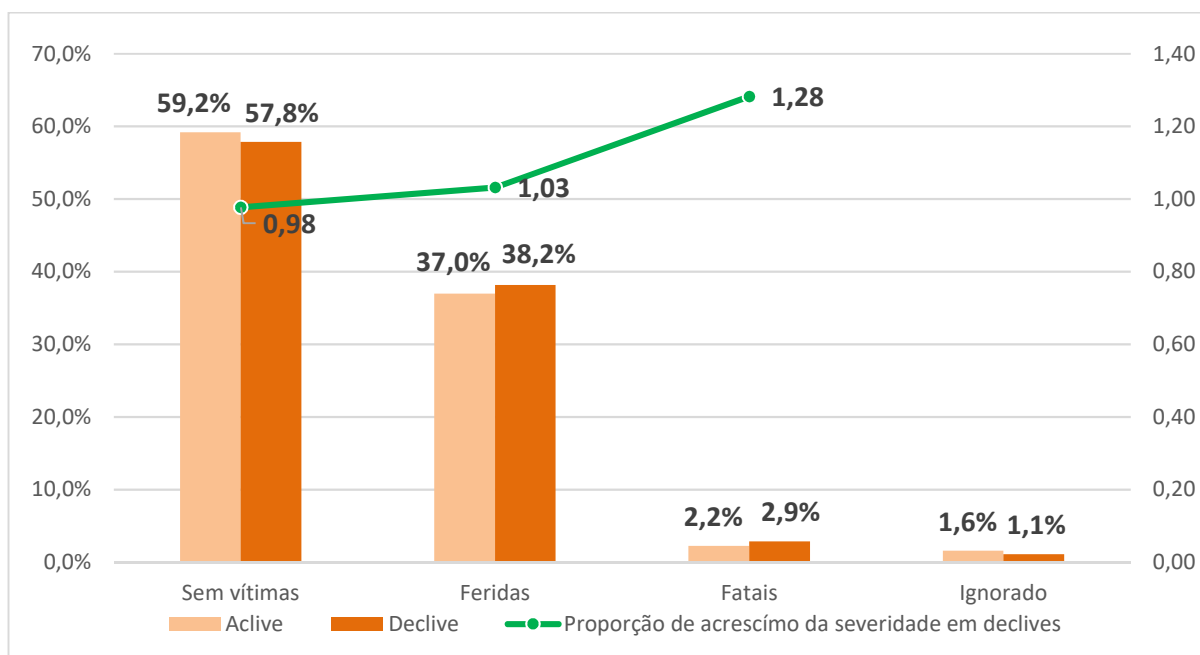
Figura 25 - Comparação entre acidentes em acrive ou declive e a geometria por faixas de Declividades



(fonte: elaborado pelo autor.)

Resultados quanto a severidade de acidentes em aclives e declives indicam uma proporção de vítimas feridas semelhante em aclives e declives e uma proporção de acidentes fatais maior em declives, conforme disposto na Figura 26:

Figura 26 - Comparação entre severidade de acidentes de aclives e declives



(fonte: elaborado pelo autor.)

4.1.8.6 Acidentes versus Raio e Declividade

Com o objetivo de encontrar uma relação direta entre a superelevação e declividade, um dos focos do presente estudo, dividiu-se a superelevação em faixas e para cada uma dessas faixas analisou-se a declividade. Essa análise buscou encontrar alguma tendência de relação entre declividade e superelevação na ocorrência de acidentes, o que não foi claramente observado. No apêndice C estão dispostos os gráficos construídos para essa análise.

4.2 RESULTADOS DA MODELAGEM ESTATÍSTICA

Nessa seção são apresentados os resultados dos modelos de frequência de acidentes e do modelo de severidade de acidentes, cujas construções seguiram o procedimento descrito no capítulo anterior.

4.2.1 Resultados dos modelos de frequência de acidentes

Nessa subseção estão dispostos os resultados da estimação dos modelos de frequência de acidentes. Na Tabela 7 a seguir é apresentada a estatística descritiva para as variáveis candidatas dos modelos construídos.

Tabela 7 - Estatística descritiva para as variáveis candidatas

Variável		N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Dependente	Frequência de acidentes (n°)	729	0,000	35,000	2,753	4,397
	Ângulo Central (°)	729	0,370	164,669	44,086	31,722
	Declividade Absoluta (%)	729	0,020	9,908	4,451	2,259
Independentes	Desenvolvimento (m)	729	0,646	427,960	108,116	59,788
	Raio (m)	729	45,420	5490,900	202,447	263,469
	Superelevação (%)	729	2,000	8,000	4,657	1,769

(fonte: elaborado pelo autor.)

Nos modelos de frequência de acidentes foram utilizadas como variáveis os parâmetros geométricos extraídos da base de dados construída. Tendo em vista a natureza do modelo de frequência de acidentes, de agrupar os acidentes por curva, não foi possível considerar outras informações disponíveis na base de dados da Polícia Rodoviária Federal.

4.2.1.1 Análise de multicolinearidade dos modelos de frequência de acidentes

Na Tabela 8 são apresentados os resultados para a análise de multicolinearidade para as variáveis candidatas. Nenhuma variável indicou elevada correlação segundo o critério utilizado no presente trabalho de um VIF máximo de 10 (HAIR *et al.*, 2009), mesmo a variável raio e superelevação sendo proporcionais.

Tabela 8 - Fatores de inflação da variância para as variáveis candidatas ao modelo de frequência

Variável	Tolerância	VIF
Ângulo Central (°)	0,162	6,172
Declividade Absoluta (%)	0,974	1,026
Desenvolvimento (m)	0,252	3,971
Raio (m)	0,696	1,436
Superelevação (%)	0,234	4,282

(fonte: elaborado pelo autor.)

4.2.1.2 Estimação dos modelos de frequência de acidentes

Foram estimados modelos Binomiais Negativos para a frequência de acidentes totais, frequência de acidentes em aclives e frequência de acidentes em declives. Esse procedimento foi realizado de forma a incluir na análise da frequência de acidentes a informação sobre a ocorrência do acidente em aclive ou declive.

Iniciou-se a análise pelo modelo de frequência de acidentes totais, aplicando a técnica de eliminação regressiva (*backwards elimination*), removendo uma variável de cada vez, sendo a variável removida a que apresentasse o maior valor p. Após a aplicação da técnica apresentada, as variáveis Raio e Ângulo Central foram removidas do modelo, resultando as variáveis Declividade Absoluta, Desenvolvimento e Superelevação, apresentadas na Tabela 9 a seguir, todas dentro do limite estabelecido de 10% para o nível de significância:

Tabela 9 - Modelo binomial negativo para a frequência de acidentes totais

Variável	Coefficiente	Valor p
(Intercepto)	-0,679	0,001
Declividade Absoluta (%)	0,075	0,000
Desenvolvimento (m)	0,005	0,000
Superelevação (%)	0,161	0,000
Deviance/df		1,320
AIC		3099,84

(fonte: elaborado pelo autor.)

Em seguida, foi estimado o modelo para frequência de acidentes em aclives, o qual após a aplicação da técnica de eliminação regressiva, resultou nas variáveis Ângulo Central, Desenvolvimento e Superelevação, conforme Tabela 10:

Tabela 10 - Modelo binomial negativo para a frequência de acidentes em aclives

Variável	Coefficiente	Valor p
(Intercepto)	-1,689	0,000
Ângulo Central (°)	0,009	0,029
Desenvolvimento (m)	0,005	0,008
Superelevação (%)	0,138	0,041
Deviance/df		1,073
AIC		1928,164

(fonte: elaborado pelo autor.)

O modelo para frequência de acidentes em declives apresentou como significativas as variáveis Ângulo Central, Declividade Absoluta e Superelevação, sendo essa última a um nível de significância de 10%, conforme Tabela 11:

Tabela 11 - Modelo binomial negativo para a frequência de acidentes em declives

Variável	Coefficiente	Valor p
(Intercepto)	-0,949	0,000
Ângulo Central (°)	0,013	0,000
Declividade Absoluta (%)	0,101	0,000
Superelevação (%)	0,065	0,079*
Deviance/df		1,16
AIC		2475,33

*Valor significativo em um nível de confiança de 90%

(fonte: elaborado pelo autor.)

4.2.1.3 Efeitos marginais dos modelos de frequência de acidentes

Após a estimação dos modelos de frequência de acidentes, calculou-se os efeitos marginais das variáveis existentes no modelo. As Tabelas 12, 13 e 14 a seguir apresentam os resultados para os modelos de frequência de acidentes totais, frequência de acidentes em aclives e frequência de acidentes em declives, respectivamente.

Tabela 12 - Efeitos marginais para o modelo de frequência de acidentes totais

Variável	Coefficiente	Incremento	Tipo de variável	Efeito marginal
Declividade Absoluta (%)	0,075	0,445	contínua	0,338
Desenvolvimento (m)	0,005	10,812	contínua	0,550
Superelevação (%)	0,161	0,466	contínua	0,777

(fonte: elaborado pelo autor.)

Tabela 13 - Efeitos marginais para o modelo de frequência de acidentes de aclives

Variável	Coefficiente	Incremento	Tipo de variável	Efeito marginal
Ângulo Central (°)	0,009	4,409	contínua	0,403
Desenvolvimento (m)	0,005	10,812	contínua	0,517
Superelevação (%)	0,138	0,466	contínua	0,663

(fonte: elaborado pelo autor.)

Tabela 14 - Efeitos marginais para o modelo de frequência de acidentes em declives

Variável	Coefficiente	Incremento	Tipo de variável	Efeito marginal
Ângulo Central (°)	0,013	4,409	contínua	0,602

Declividade Absoluta (%)	0,101	0,445	contínua	0,461
Superelevação (%)	0,065	0,466	contínua	0,309

(fonte: elaborado pelo autor.)

O cálculo dos efeitos marginais foi realizado conforme o tipo de variável. No caso das variáveis contínuas, essas foram calculadas a partir de um incremento referente a 10% do valor médio da variável, conforme procedimento descrito no capítulo anterior.

4.2.2 Resultados do modelo de severidade de acidentes

Nessa seção estão dispostos os resultados da estimação do modelo de severidade de acidentes. O modelo de severidade de acidentes, pela natureza desagregada de sua análise, permitiu a adição no modelo das variáveis ambientais e humanas disponíveis na base de dados da Polícia Rodoviária Federal. Além das variáveis utilizadas no modelo de frequência de acidentes, foram adicionadas na análise as variáveis *dummy* Aclive, Chuva, Dia, Neblina e Velocidade Incompatível.

As variáveis *dummy* assumem valores de 0 e 1, de modo a indicar a presença ou ausência de determinada característica na variável. A variável Aclive assume o valor 1 na ocorrência do acidente em aclive e 0 em declive. A variável Chuva assume o valor 1 para chuva e 0 para tempo seco. A variável Dia assume o valor 1 para amanhecer e dia e 0 para anoitecer e noite. A variável Neblina assume o valor 1 para situações com neblina e 0 para tempo normal. A variável Velocidade Incompatível assume o valor 1 para acidentes em que a causa foi velocidade excessiva e 0 para os demais casos.

4.2.2.1 Análise de multicolinearidade do modelo de severidade de acidentes

Na Tabela 15 são apresentados os resultados da análise de multicolinearidade para as variáveis candidatas. Do mesmo modo que o ocorrido para a análise do modelo de frequência de acidentes, nenhuma variável indicou elevada correlação.

Tabela 15 - Fatores de inflação da variância para as variáveis candidatas ao modelo de severidade

Variável	Tolerância	VIF
Ângulo Central (°)	0,154	6,490
Declividade Absoluta (%)	0,941	1,063

Desenvolvimento (m)	0,255	3,927
Raio (m)	0,664	1,506
Superelevação (%)	0,234	4,274
Aclive (0;1)	0,975	1,026
Chuva (0;1)	0,957	1,045
Dia (0;1)	0,980	1,021
Neblina (0;1)	0,975	1,025
Velocidade Incompatível (0;1)	0,975	1,025

(fonte: elaborado pelo autor.)

4.2.2.2 Estimação do modelo de severidade de acidentes

A estimação do modelo de severidade de acidentes foi realizada utilizando a técnica de eliminação regressiva, conforme realizado para o modelo de frequência de acidentes. Após a aplicação dessa técnica, as variáveis Raio, Dia e Desenvolvimento, respectivamente, não se demonstraram dentro do nível de significância escolhido de 10%. As variáveis resultantes estão dispostas na Tabela 16:

Tabela 16 - Modelo *Logit* Ordenado para a severidade de acidentes

Variável	Coefficiente	Teste t	Valor p
Ângulo Central (°)	0,004	2,470	0,010
Declividade Absoluta (%)	-0,035	-1,730	0,080*
Superelevação (%)	-0,105	-2,730	0,010
Aclive (0;1)	-0,165	-1,710	0,090*
Chuva (0;1)	-1,230	-11,120	0,000
Neblina (0;1)	-0,618	-2,260	0,020
Velocidade Incompatível (0;1)	0,357	3,810	0,000
tau1	-0,353	-1,830	0,070
tau2	1,540	7,710	0,000
tau3	3,010	12,890	0,000
Pseudo-R ²			0.337
Log-likelihood			-1779,91
AIC			-3545,81

*Valores significativos em um nível de confiança de 90%

(fonte: elaborado pelo autor.)

4.2.2.3 Efeitos marginais do modelo de severidade de acidentes

Após a estimação dos modelos de severidade de acidentes, calculou-se os efeitos marginais das variáveis existentes no modelo, conforme Tabela 17:

Tabela 17 - Efeitos marginais para o modelo de severidade de acidentes em declives

Variável	Coefficiente	Incremento	Tipo de variável	Efeito marginal (Severidade 1)	Efeito marginal (Severidade 2)	Efeito marginal (Severidade 3)	Efeito marginal (Severidade 4)
Ângulo Central (°)	0,0042	6,2180	contínua	-0,00094	0,00056	0,00027	0,00011
Declividade Absoluta (%)	-0,0353	0,4738	contínua	0,00783	-0,00472	-0,00224	-0,00088
Superelevação (%)	-0,1050	0,5341	contínua	0,02323	-0,01409	-0,00658	-0,00256
Aclive (0;1)	-0,1650	1,0000	dummy	0,03655	-0,02211	-0,01040	-0,00405
Chuva (0;1)	-1,2300	1,0000	dummy	0,19352	-0,12902	-0,04724	-0,01726
Neblina (0;1)	-0,6180	1,0000	dummy	0,13774	-0,08987	-0,03489	-0,01297
Velocidade Incompatível (0;1)	0,3570	1,0000	dummy	-0,02805	0,01650	0,00830	0,00326

(fonte: elaborado pelo autor.)

Conforme disposto no capítulo anterior, o cálculo dos efeitos marginais foi realizado conforme o tipo de variável. No caso das variáveis *dummy* o efeito foi calculado pela diferença de probabilidades de elas assumirem 0 e 1.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo é apresentada a discussão e interpretação dos resultados encontrados na estimação dos modelos de frequência de acidentes e na estimação do modelo de severidade de acidentes. As variáveis obtidas como significativas foram discutidas individualmente e comparadas com os resultados existentes na literatura, conforme discutido no capítulo 3. O modelo de severidade de acidentes resultou num número maior de variáveis significativas, tendo em vista que foi possível utilizar as variáveis *dummy* relacionadas a cada acidente.

5.1 MODELOS DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

A discussão dos modelos de frequência de acidentes foi dividida por item, de modo a facilitar a interpretação dos diferentes modelos construídos.

5.1.1 Modelo de frequência de acidentes totais

No modelo estimado para a frequência de acidentes totais, foram encontradas como variáveis significativas a Declividade Absoluta, o Desenvolvimento e a Superelevação. Os resultados mostraram a influência dessas variáveis no sentido de aumentar a frequência de acidentes, o que condiz com os resultados prévios desse capítulo e da literatura, conforme discutidos no capítulo 2.

A Declividade Absoluta demonstrou-se como variável significativa para o aumento na frequência de acidentes, à medida que ela aumenta, conforme resultados da literatura (SHANKAR; MANNERING; BARFIELD, 1995) e (AGBELIE, 2016). Esse resultado pode ser explicado pela maior dificuldade que regiões de grande declividade apresentam ao motorista e pela redução da margem de segurança do atrito transversal, que contribuem para a saída de pista do veículo (TORBIC et al., 2014).

O Desenvolvimento representa o percurso que o veículo percorre na curva horizontal, possuindo importante relação com as variáveis Raio e Ângulo Central, segundo a equação:

$$D = \frac{AC \cdot R \cdot \pi}{180} \quad (15)$$

Onde:

D = Desenvolvimento (m)

AC = Ângulo Central (°)

R = Raio (m)

Segundo os resultados de efeito marginal, é possível concluir que o desenvolvimento possui maior influência na frequência de acidentes do que a Declividade Absoluta, aumentando a frequência de acidentes com o aumento do mesmo, conforme resultados da literatura (ARAM, 2010) e (SCHNEIDER; SAVOLAINEN; MOORE, 2010). É possível interpretar esse resultado através de um maior tempo de permanência do motorista na curva. Apesar disso, como é possível perceber na equação anterior, um maior Desenvolvimento pode significar maior Raio, Maior Ângulo Central ou ambos.

A terceira variável obtida como significativa foi a superelevação, que segundo os resultados dos efeitos marginais foi a de maior impacto, possuindo mais que o dobro de influência na frequência de acidentes. Apesar do resultado não é possível concluir que a superelevação está diretamente associada a uma maior frequência de acidentes, pois ela possui maior valor em locais mais críticos, com menor Raio, o que explica o resultado. No entanto, esse resultado vai de encontro com o obtido em estudos na literatura (ARAM, 2010), (GARNIAK, 2014).

5.1.2 Modelo de frequência de acidentes em aclives

Para o modelo estimado, levando em conta apenas os acidentes ocorridos em aclive, as variáveis significativas foram Ângulo Central, Desenvolvimento e Superelevação. A variável Declividade não se demonstrou um fator significativo, conforme esperado após análise ilustrada na Figura 25 da seção 6.3. Uma explicação para tal resultado é que, apesar da perda do atrito transversal aumentar com o aumento do aclive, essa é compensada pela diminuição da velocidade do veículo pelo condutor.

O Ângulo Central foi a única variável significativa nesse modelo que não se mostrou significativa no modelo de frequência para acidentes totais. Segundo os resultados de efeitos marginais a frequência de acidentes aumenta com o aumento do Ângulo Central, o que é

intuitivo e se confirma na literatura (FINK, 1995), (ARAM, 2010), (GARNIAK, 2014), (DONG et al., 2015), (RENGARASU; HAGIWARA; HIRASAWA, 2009), pois um maior Ângulo Central significa curvas mais acentuadas. As variáveis Desenvolvimento e Superelevação já foram discutidas no modelo de frequência de acidentes totais.

5.1.3 Modelo de frequência de acidentes em declives

Considerando o modelo de frequência de acidentes apenas em declive, as variáveis significativas foram Ângulo Central, Declividade e Superelevação. A variável Ângulo Central se demonstrou mais significativa do que a variável Superelevação, diferente do observado no modelo de frequência de acidentes em aclives. A variável Declividade, ao contrário do observado no modelo de frequência de acidentes em aclive, foi significativa. Esse resultado pode ser explicado pelo fato dos declives serem mais críticos do que aclives, conforme resultados da seção anterior e literatura (BONNISON, 2000) e (ECK; FRENCH 2002).

5.2 MODELO DE SEVERIDADE DE ACIDENTES

Com a construção de um modelo de severidade de acidentes, foi possível analisar os acidentes individualmente, incluindo na análise as variáveis *dummy* Chuva, Dia, Neblina, e Velocidade Incompatível, que estão relacionadas com fatores ambientais e humano. As variáveis Chuva e Neblina indicam a condição climática no momento do acidente, a variável Dia indica se o acidente ocorreu de dia ou à noite, e a variável Velocidade Incompatível indica se o motorista estava com uma velocidade incompatível com a velocidade máxima do local em questão.

O aumento da variável Ângulo Central produz, segundo a análise dos efeitos marginais, uma pequena redução na probabilidade de ocorrência da Severidade 1 (danos materiais) e um pequeno aumento na probabilidade de ocorrência das severidades 2, 3 e 4 (feridos leves, feridos graves e fatais, respectivamente). Esse resultado pode ser explicado com ajuda dos resultados dos modelos de frequência de acidentes em aclive e declive, onde o Ângulo Central teve influência no aumento da frequência dos acidentes. A presença de um maior número de acidentes em determinada curva aumenta a possibilidade de a ocorrência de acidentes com elevadas severidades.

A variável Declividade também apresenta pequeno efeito na severidade de acidentes, mas apesar de um aumento na Declividade provocar um aumento na frequência de acidentes, a análise dos efeitos marginais do modelo de severidade de acidentes mostra um aumento na probabilidade de ocorrência da severidade 1 e uma redução da probabilidade de ocorrência das severidades 2, 3 e 4, de acordo com os resultados da literatura (CHIKKAKRISHNA; PARIDA; JAIN, 2017), e pode ser explicado pela tendência de redução da velocidade operacional que ocorre em elevadas declividades (GARCIA; LINDAU; NODARI, 2013), que por sua vez produz acidentes de menor severidade, conforme discutido a seguir.

O último parâmetro geométrico utilizado nos modelos de severidade de acidentes que se mostrou uma variável significativa foi a Superelevação, que produziu resultados semelhantes ao da variável Declividade, e que podem ser interpretados de mesmo modo. A análise dos efeitos marginais produziu um aumento da probabilidade de ocorrência da severidade 1 e uma redução da probabilidade de ocorrência das severidades 2, 3 e 4, semelhantes aos resultados da literatura (SAMEEN; PRADHAN, 2016). A variável Superelevação depende da classe e do Raio da rodovia, sendo que uma maior Superelevação ocorre em Raios pequenos, que por sua vez produz velocidades operacionais reduzidas e acidentes de menor severidade.

A variável *dummy* Aclive é importante para um melhor entendimento da variável declividade e por ser dependente do acidente só pode ser usada no modelo de severidade de acidentes. Os resultados indicam que a ocorrência de um acidente em aclive aumenta em 3,6% a probabilidade de acidentes de severidade 1 e que a ocorrência de um acidente em declive aumenta a probabilidade de acidentes das severidades 2, 3 e 4 em 2,2%, 1,0% e 0,3%, respectivamente. Esse resultado vai de encontro com os resultados observados na seção 6.3 e nos modelos de frequência de acidentes em aclive e declive, onde a variável declividade se mostrou significativa para o modelo de frequência de acidentes em declives, que são mais críticos conforme discutido no capítulo 2 (BONNISON, 2000) e (ECK; FRENCH 2002).

As variáveis *dummy* Chuva e Neblina são ambas variáveis ambientais que produziram um efeito marginal considerável no sentido de aumentar a probabilidade de acidentes de severidade 1 e reduzir a probabilidade de acidentes de severidades 2, 3 e 4, que está de acordo com resultados da literatura (ANASTASOPOULOS et al., 2012) e (MA et al., 2015). Esse comportamento se explica pela diminuição do nível de conforto que o motorista percebe ao trafegar na chuva ou neblina, que o faz reduzir a velocidade, e por consequência, a severidade do acidente.

A última variável que se mostrou significativa no modelo de severidade de acidentes foi Velocidade Incompatível, que produziu uma redução na probabilidade de ocorrência da Severidade 1 um aumento na probabilidade de ocorrência das severidades 2, 3 e 4. Esse resultado corrobora as discussões realizadas no capítulo 2 e com os resultados encontrados anteriormente, onde uma maior velocidade leva a severidades mais elevadas (RENSKI; KHATTAK; COUNCIL, 1999), (CHIKKAKRISHNA; PARIDA; JAIN, 2017) e (MA et al., 2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho em questão buscou analisar o impacto de parâmetros geométricos de curvas na frequência e severidade de acidentes em rodovias de pista simples. Para tal, estimou-se 4 modelos de regressão, 3 modelos de regressão Binomial Negativo para a frequência de acidentes e um modelo *Logit* Ordenado para a severidade de acidentes. Como objetivos secundários foi obtida a reconstituição geométrica do trecho estudado, e mensurados os impactos de variáveis ambientais e humanas na severidade de acidentes.

Dentre os cinco parâmetros geométricos analisados: Ângulo Central, Declividade Absoluta, Desenvolvimento, Raio e Superelevação, apenas a variável Raio não foi significativa em nenhum dos modelos. Esse resultado, no entanto, é esperado pela existência da variável Superelevação, que está diretamente relacionada com o a variável Raio, tendo em vista que a região de estudo foi considerada de classe uniforme. Entre as variáveis observadas como significativas, a Declividade absoluta e a Superelevação apresentaram os resultados mais importantes, onde um aumento no valor dessas variáveis resultou em um aumento na frequência e uma diminuição da severidade dos acidentes. Além das variáveis geométricas, o modelo de severidade de acidentes permitiu a inclusão na análise de variáveis humanas (Velocidade incompatível) e variáveis ambientais (Chuva, Dia, Neblina).

Os parâmetros geométricos fazem parte do componente viário dos acidentes e tem grande influência na frequência e severidade de acidentes, conforme identificado nesse estudo, demonstrando a importância de um bom projeto na engenharia rodoviária. Apesar de parte dos resultados encontrados serem intuitivos, a quantificação do impacto de cada variável contribui com evidências capazes de orientar o desenvolvimento de projetos viários seguros e melhorias naqueles já executados.

Para trabalhos futuros sugere-se que o método apresentado seja replicado para rodovias de classes, relevos e números de pistas diferentes, de modo a comparar os resultados obtidos. Outra sugestão é a realização de uma análise aprofundada na relação entre Superelevação e Declividade, que se mostraram variáveis importantes, tanto no modelo de frequência quanto no modelo de severidade de acidentes. Em relação à modelagem da frequência e severidade, a análise utilizando modelos de parâmetros mistos pode contribuir com a acurácia da estimação.

REFERÊNCIAS

- AGBELIE, B. R. D. K. Random-parameters analysis of highway characteristics on crash frequency and injury severity. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 3, n. 3, p. 236–242, jun. 2016.
- AGBELIE, B. R. D. K. A comparative empirical analysis of statistical models for evaluating highway segment crash frequency. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 3, n. 4, p. 374–379, ago. 2016.
- AL-BDAIRI, N. S. S.; HERNANDEZ, S.; ANDERSON, J. Contributing Factors to Run-Off-Road Crashes Involving Large Trucks under Lighted and Dark Conditions. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, v. 144, n. 1, p. 04017066, jan. 2018.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. 5th ed. Washington, D.C., 1994.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. 5th ed. Washington, D.C., 2011.
- ANASTASOPOULOS, P. C. et al. **A multivariate tobit analysis of highway accident-injury-severity rates**. *Accident Analysis & Prevention*, v. 45, p. 110–119, mar. 2012.
- ARAM, A. Effective Safety Factors on Horizontal Curves of Two-lane Highways. **Journal of Applied Sciences**, v. 10, n. 22, p. 2814–2822, 1 dez. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.697: Pesquisa em acidentes de trânsito: terminologia**. Brasília, , 1989.
- AUSTROADS. **Guide to road safety. Part 8, Part 8**. Sydney: Austroads, 2009.
- BIERLAIRE, M. **Biogeme: a free package for the estimation of discrete choice models**, In: Swiss Transportation Research Conference, 3, 2003. **Anais...** Ascona, Switzerland. 2003.
- BONNESON, J. A. **Superelevation distribution methods and transition designs**. Washington, D.C: National Academy Press, 2000.
- BRANCO, A. M. **Segurança Rodoviária**. Editora CL-A Cultural Ltda, 1999.
- BRASIL. **Lei n.º 13.379, de 6 de janeiro de 2011. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Viação - SNV**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2011.
- CASTRO, M.; PALETI, R.; BHAT, C. R. A spatial generalized ordered response model to examine highway crash injury severity. **Accident Analysis & Prevention**, v. 52, p. 188–203, mar. 2013.

CHANG, T.-H. Effect of Vehicles' Suspension on Highway Horizontal Curve Design. **Journal of Transportation Engineering**, v. 127, n. 1, p. 89–91, fev. 2001.

CHEN, C. et al. Examining driver injury severity outcomes in rural non-interstate roadway crashes using a hierarchical ordered logit model. **Accident Analysis & Prevention**, v. 96, p. 79–87, nov. 2016.

CHIKKAKRISHNA, N. K.; PARIDA, M.; JAIN, S. S. Identifying safety factors associated with crash frequency and severity on nonurban four-lane highway stretch in India. **Journal of Transportation Safety & Security**, v. 9, n. sup1, p. 6–32, 30 mar. 2017.

CRUZ, P.; ECHAVEGUREN, T.; GONZÁLEZ, P. Estimación del potencial de rollover de vehículos pesados usando principios de confiabilidad. **Revista ingeniería de construcción**, v. 32, n. 1, p. 5–14, abr. 2017.

DE OÑA, J.; MUJALLI, R. O.; CALVO, F. J. **Analysis of traffic accident injury severity on Spanish rural highways using Bayesian networks**. *Accident Analysis & Prevention*, v. 43, n. 1, p. 402–411, jan. 2011.

DEPARTAMENTO DE POLICIA RODOVIÁRIA FEDERAL. **Acidentes**, 2017. Disponível em: <<<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>>>. Acesso em: 10 set. 2017

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Projeto de Interseções**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. Brasília, DF, 2006.

DONG, C. et al. Assessment of the effects of highway geometric design features on the frequency of truck involved crashes using bivariate regression. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 75, p. 30–41, maio 2015.

DONG, C. et al. Estimating Factors Contributing to Frequency and Severity of Large Truck–Involved Crashes. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, v. 143, n. 8, p. 04017032, ago. 2017.

ECK, R. W.; FRENCH, L. J. Effective Superelevation for Large Trucks on Sharp Curves and Steep Grades. **WVDOT RP 153**, 2002.

FERRAZ, C.; RAIA JR., A.; BEZERRA, B.; BASTOS, T.; RODRIGUES, K. **Segurança Viária**. Núcleo de Estudos de Segurança no Trânsito, Universidade de São Paulo. SP, 2012.

FINK, K. L., AND R. A. KRAMMES. **Tangent Length and Sight Distance Effects on Accident Rates at Horizontal Curves on Rural Two-Lane Roads**. In *Transportation*

Research Record 1500, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995, pp. 162–167.

GARCIA, D. S. P.; LINDAU, L. A.; NODARI, C. T. Multivariate Operating Speed Forecasting Model Based on the Geometric Elements of Two-Lane Highways. **Journal of Traffic and Logistics Engineering**, v. 1, n. 2, p. 97–103, 2013.

GARNAIK, M. M. **Effects of Highway geometric elements on Accident Modelling**. Thesis (Master of Technology in Transportation Engineering). Department of Civil Engineering, National Institute of Technology Rourkela Odisha, India. 2014.

GREENE, W. W. H. **Econometric Analysis**. 7. ed. Edition. New Jersey: Pearson, 2012.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Bookman Editora, 2009.

HILBE, J. **Negative Binomial Regression**. 2nd ed. 573 p. Cambridge University Press. 2011.

HOSSEINPOUR, M. et al. Evaluating the effects of road geometry, environment, and traffic volume on rollover crashes. **Transport**, v. 31, n. 2, p. 221–232, 2 abr. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA; ECONÔMICA APLICADA. **Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras: caracterização, tendências e custos para a sociedade**. Brasília, DF, , 2015.

IYINAM, A. F.; IYINAM, S.; ERGUN, M. **Analysis of relationship between highway safety and road geometric design elements: Turkish case**. Technical University of Istanbul, Faculty of Civil Engineering, Turkey. 1997.

MA, J.; LI, Z. **Bayesian Modeling of Frequency-Severity Indeterminacy with an Application to Traffic Crashes on Two-Lane Highways**. American Society of Civil Engineers, 22 jul. 2010. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/41127%28382%29110>>. Acesso em: 24 maio. 2018

MA, Z. et al. Exploring factors contributing to crash injury severity on rural two-lane highways. **Journal of Safety Research**, v. 55, p. 171–176, dez. 2015.

MANNERING, F. L.; BHAT, C. R. **Analytic methods in accident research analytic methods in accident research : methodological frontier and future directions**. Analytic Methods in Accident Research. v. 1, p. 1–22, 2014.

MAVROMATIS, S. et al. Investigation of vehicle motion on sharp horizontal curves combined with steep longitudinal grades. **Transportation Letters**, v. 8, n. 4, p. 220–228, 7 ago. 2016.

MCCULLANGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized linear models**. 2nd ed. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC Monographs on Statistics & Applied Probability, 1989.

MILTON, J. C.; SHANKAR, V. N.; MANNERING, F. L. **Highway accident severities and the mixed logit model: An exploratory empirical analysis**. Accident Analysis & Prevention, v. 40, n. 1, p. 260–266, jan. 2008.

MONTELLA, A. et al. Development and evaluation of a web-based software for crash data collection, processing and analysis. **Accident Analysis & Prevention**, fev. 2017.

NODARI, C. T. **Método de Avaliação da Segurança Potencial de Segmentos Rodoviários Rurais de Pista Simples**. 2003. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 4th ed., London: Wiley, 2011.

PARKHILL, M. Managing Run-off-Road Collisions: Engineering Treatments with AMFs. **Paper prepared for presentation at the Roadside Safety Advancements Session of the Annual Conference of the Transportation Association of Canada**, 2006.

RADIMSKY, M.; MATUSZKOVA, R.; BUDIĆ, O. Relationship between horizontal curves design and accident rate. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 5–2, 8 maio 2016.

RENGARASU, T.; HAGIWARA, T.; HIRASAWA, M. Effects of Road Geometry and Cross-Section Variables on Traffic Accidents: Study Using Homogeneous Road Segments. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2102, p. 34–42, dez. 2009.

RENSKI, H.; KHATTAK, A.; COUNCIL, F. Effect of Speed Limit Increases on Crash Injury Severity: Analysis of Single-Vehicle Crashes on North Carolina Interstate Highways. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1665, p. 100–108, jan. 1999.

SAMEEN, M. I.; PRADHAN, B. Forecasting severity of traffic accidents using road geometry extracted from mobile laser scanning data. **Conference on Remote Sensing (ACRS)**, 2016.

SCHNEIDER, W. H.; SAVOLAINEN, P. T.; MOORE, D. N. Effects of Horizontal Curvature on Single-Vehicle Motorcycle Crashes along Rural Two-Lane Highways. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2194, n. 1, p. 91–98, jan. 2010.

SCHNEIDER, W. H.; SAVOLAINEN, P. T.; ZIMMERMAN, K. Driver Injury Severity Resulting from Single-Vehicle Crashes along Horizontal Curves on Rural Two-Lane Highways. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2102, n. 1, p. 85–92, jan. 2009.

SHANKAR, V.; MANNERING, F.; BARFIELD, W. Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. **Accident Analysis & Prevention**, v. 27, n. 3, p. 371–389, jun. 1995.

SHRESTHA, P. P.; SHRESTHA, K. J. Factors associated with crash severities in built-up areas along rural highways of Nevada: A case study of 11 towns. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 4, n. 1, p. 96–102, fev. 2017.

SMALL, K.A. **Discrete Choice Model for Ordered Alternatives**, *Econometrica*, v. 55, n. 2, p. 409, 1987.

TORBIC, D. J. et al. **Superelevation Criteria for Sharp Horizontal Curves on Steep Grades**. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2014.

TREAT, J.; TUMBAS, N. S.; MCDONALD, S. T.; SHINAR, D.; HUME, R. D.; MAYER, R. E.; STANSIFER, R. L.; CASTELLAN, N. J. **Tri-level study of the causes of traffic accidents**. Executive summary. *Vision Research*. v. 42, n. 21, p. 2419–2430, 1979.

UNITED NATIONS. **Global Plan for The Decade of Action for Road Safety 2011–2020**, 2011. Disponível em: <[www.who.int/roadsafety/decade of action/plan/english.pdf](http://www.who.int/roadsafety/decade%20of%20action/plan/english.pdf)>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global status report on road safety**. Suíça: Organização das Nações Unidas, 2015.

ZEGEER, C.V., STEWART, R., COUNCIL, F.M., REINFURT, D.W., HAMILTON, E. **Safety effects of geometric improvements on horizontal curves**. *Transportation Research Record* 1356, 11–19, 1992.

**APÊNDICE A – RELATÓRIO PLANIMÉTRICO (RPL) DO TRECHO
116BRS3010**

PLANILHA DE COORDENADAS

Rodovia: BR-116

Trecho: 116BRS3010

Segmento: km: 0+000,00 ao km 37+262,171

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA								ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°'")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	e (%)	Az (°'")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)
PP				0+000,000									211°36'22,10"	26,131	99,229	523588,0873	6879476,153
1	0+026,131			0+155,166	67°12'37,05" E	110			129,034	73,098	73,098	0,056198	144°23'45,05"	109,197	299,637	523536,0836	6879391,642
2	0+264,363			0+493,211	31°13'09,15" D	420			228,849	117,342	117,342	0,017914	175°36'54,20"	130,358	275,899	523710,527	6879148,019
3	0+623,570			0+679,801	10°44'22,03" D	300			56,232	28,198	28,198	0,024444	186°21'16,23"	53,878	117,076	523731,6214	6878872,928
4	0+733,679			0+802,978	19°51'09,06" E	200			69,298	35	35	0,035	166°30'07,17"	78,567	135,422	523718,6634	6878756,571
5	0+881,545			0+925,081	12°28'20,07" D	200			43,536	21,855	21,855	0,035	178°58'27,24"	171,907	232,708	523750,2724	6878624,89
6	1+096,988			1+173,919	22°02'20,33" D	200			76,931	38,947	38,947	0,035	201°00'47,58"	90,149	172,405	523754,4383	6878392,219
7	1+264,068			1+345,809	46°50'01,83" E	100			81,74	43,309	43,309	0,06	154°10'45,74"	80,7	175,376	523692,6168	6878231,279
8	1+426,509			1+525,488	37°48'27,12" D	150			98,98	51,367	51,367	0,044444	191°59'12,86"	159,284	334,648	523769,0028	6878073,412
9	1+684,772			1+899,034	72°12'48,81" D	170			214,262	123,997	123,997	0,040138	264°12'01,67"	124,9	265,882	523699,5003	6877746,061
10	2+023,934			2+057,639	17°33'21,70" E	110			33,705	16,986	16,986	0,056198	246°38'39,97"	100,842	324,832	523434,9789	6877719,194
11	2+158,481			2+545,454	50°23'26,42" E	440			386,973	207,005	207,005	0,017149	196°15'13,55"	105,064	324,956	523136,7627	6877590,419
12	2+650,518			2+676,152	14°41'13,33" D	100			25,634	12,888	12,888	0,06	210°56'26,88"	90,391	134,127	523045,8101	6877278,451
13	2+766,543			2+827,119	26°41'53,75" D	130			60,576	30,848	30,848	0,049704	237°38'20,62"	37,64	89,481	522976,8484	6877163,41
14	2+864,760			2+906,384	18°20'44,04" E	130			41,625	20,992	20,992	0,049704	219°17'36,58"	297,583	368,707	522901,2645	6877115,515
15	3+203,968			3+303,313	18°58'24,64" E	300			99,345	50,131	50,131	0,024444	200°19'11,94"	87,073	169,255	522667,765	6876830,169
16	3+390,386			3+454,244	12°11'45,56" D	300			63,858	32,05	32,05	0,024444	212°30'57,50"	56,599	121,074	522608,9891	6876671,447
17	3+510,843			3+575,407	13°12'41,55" E	280			64,564	32,426	32,426	0,02602	199°18'15,95"	99,614	158,896	522543,9073	6876569,352
18	3+675,021			3+728,591	10°13'52,06" E	300			53,57	26,856	26,856	0,024444	189°04'23,89"	73,535	136,551	522491,3782	6876419,389
19	3+802,126			3+874,097	13°44'43,57" D	300			71,971	36,159	36,159	0,024444	202°49'07,46"	89,32	154,491	522469,8444	6876284,547
20	3+963,417			4+021,260	11°02'49,87" E	300			57,843	29,011	29,011	0,024444	191°46'17,59"	75,025	215,613	522409,9303	6876142,147
21	4+096,285			4+307,898	44°54'20,33" D	270			211,613	111,577	111,577	0,026886	236°40'37,92"	183,052	356,925	522365,943	6875931,068
22	4+490,950			4+614,001	22°01'56,33" E	320			123,052	62,295	62,295	0,023047	214°38'41,58"	203,593	301,027	522067,7009	6875734,99
23	4+817,595			4+887,553	13°21'39,90" E	300			69,958	35,139	35,139	0,024444	201°17'01,69"	212,716	276,554	521896,5703	6875487,337
24	5+100,269			5+157,514	10°14'58,90" E	320			57,245	28,699	28,699	0,023047	191°02'02,78"	99,786	233,718	521796,1847	6875229,646
25	5+257,301			5+460,198	37°30'01,97" D	310			202,897	105,232	105,232	0,023725	228°32'04,75"	180,053	351,917	521751,4526	6875000,249
26	5+640,252			5+771,385	25°02'40,82" E	300			131,134	66,631	66,631	0,024444	203°29'23,94"	1255,107	1418,986	521487,7415	6874767,221

27	7+026,492	7+219,312	18°24'46,72" D	600	192,82	97,249	97,249	0,012778	221°54'10,65"	887,22	1034,766	520922,1495	6873465,827
28	8+106,532	8+206,955	8°13'11,04" E	700	100,423	50,298	50,298	0,01102	213°40'59,62"	1221,115	1363,915	520231,0594	6872695,674
29	9+428,070	9+611,629	17°31'42,85" E	600	183,559	92,502	92,502	0,012778	196°09'16,77"	481,649	674,982	519474,631	6871560,738
30	10+093,278	10+288,247	36°02'06,82" E	310	194,969	100,83	100,83	0,023725	160°07'09,95"	85,135	246,716	519286,8301	6870912,409
31	10+373,382	10+493,263	22°53'44,06" D	300	119,881	60,751	60,751	0,024444	183°00'54,00"	88,005	203,168	519370,7287	6870680,396
32	10+581,268	10+688,922	20°33'37,04" E	300	107,653	54,412	54,412	0,024444	162°27'16,96"	85,359	231,565	519360,0426	6870477,509
33	10+774,281	10+952,440	34°01'33,51" D	300	178,16	91,794	91,794	0,024444	196°28'50,47"	729,624	1014,741	519429,8499	6870256,717
34	11+682,064	12+025,527	65°35'47,81" E	300	343,463	193,324	193,324	0,024444	130°53'02,66"	86,114	464,934	519141,9758	6869283,666
35	12+111,641	12+443,910	63°27'30,99" D	300	332,268	185,496	185,496	0,024444	194°20'33,65"	984,982	1182,255	519493,4827	6868979,352
36	13+428,892	13+452,433	4°29'46,03" E	300	23,542	11,777	11,777	0,024444	189°50'47,62"	821,2	861,772	519200,6136	6867833,946
37	14+273,633	14+331,180	5°29'43,07" D	600	57,547	28,795	28,795	0,012778	195°20'30,69"	1764,608	2016,941	519053,2418	6866984,869
38	16+095,787	16+523,747	40°52'01,66" D	600	427,96	223,538	223,538	0,012778	236°12'32,35"	884,995	1239,907	518519,6042	6865039,802
39	17+408,742	17+669,165	18°39'04,91" E	800	260,422	131,373	131,373	0,009688	217°33'27,44"	1211,185	1467,864	517489,1527	6864350,209
40	18+880,350	19+127,410	23°35'33,21" E	600	247,061	125,306	125,306	0,012778	193°57'54,22"	800,206	1007,424	516594,403	6863186,574
41	19+927,617	20+090,699	13°20'54,42" D	700	163,082	81,912	81,912	0,01102	207°18'48,65"	14535,25	14722,026	516351,2811	6862208,926
42	34+625,949	34+834,129	17°02'23,18" D	700	208,18	104,864	104,864	0,01102	224°21'11,82"	2428,042	2532,906	509595,9454	6849128,273
PF	37+262,171											507825,2397	6847317,136

**APÊNDICE B – RELATÓRIO ALTIMÉTRICO (RAT) DO TRECHO
116BRS3010**

RELATÓRIO DE ALTIMETRIA

Rodovia: BR-116

Trecho: 116BRS3010

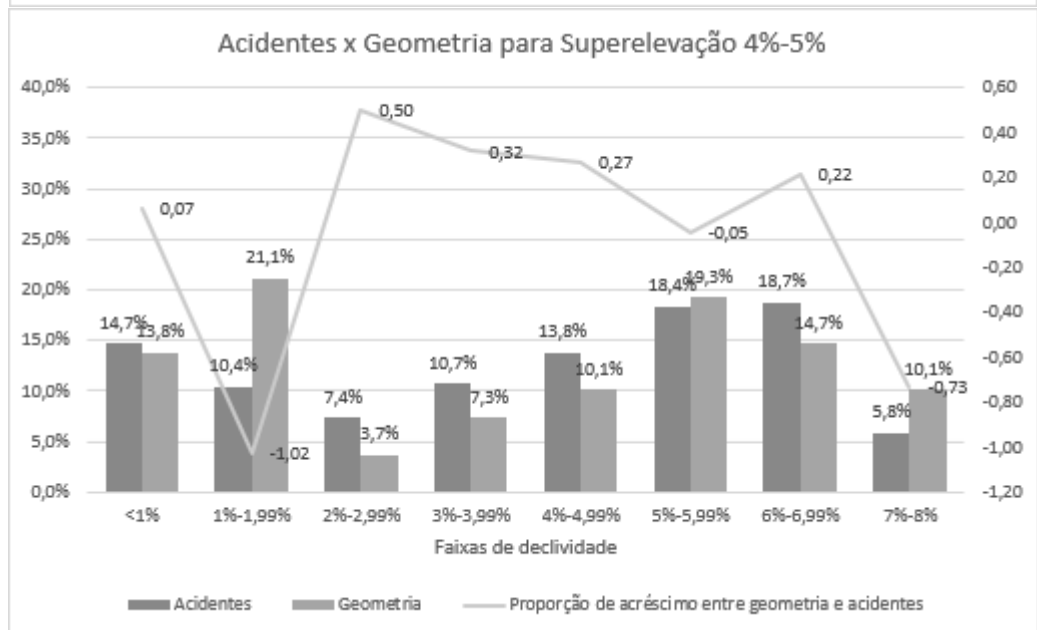
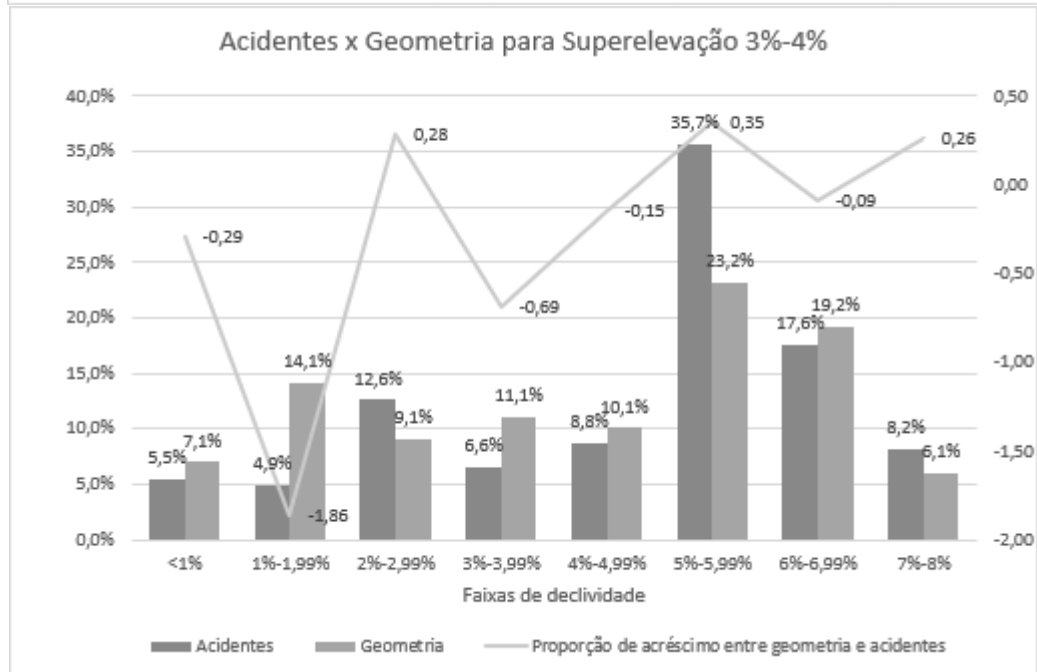
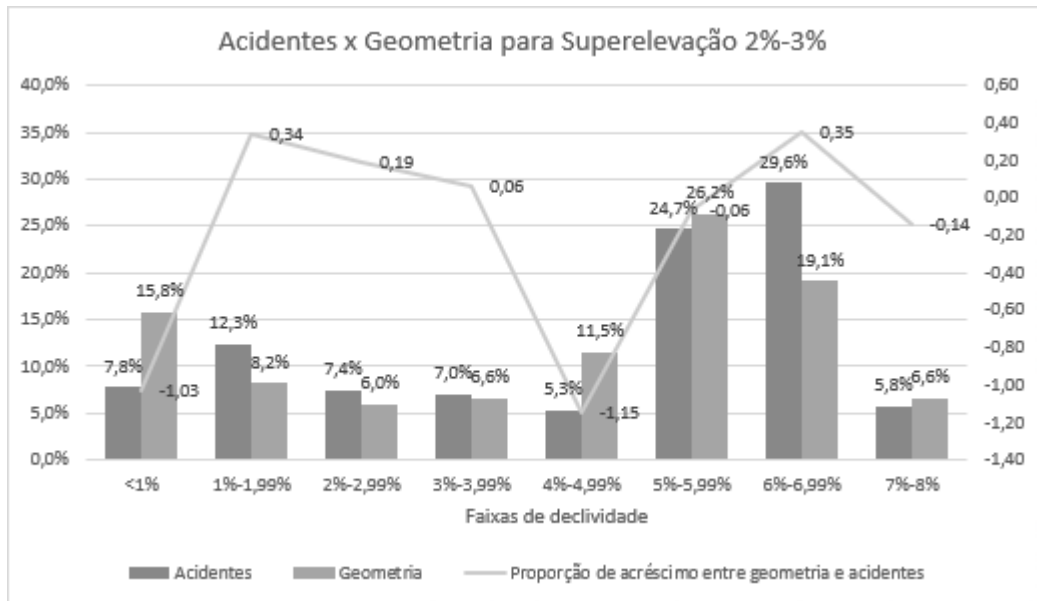
Segmento: km: 0+000,00 ao km 37+262,171

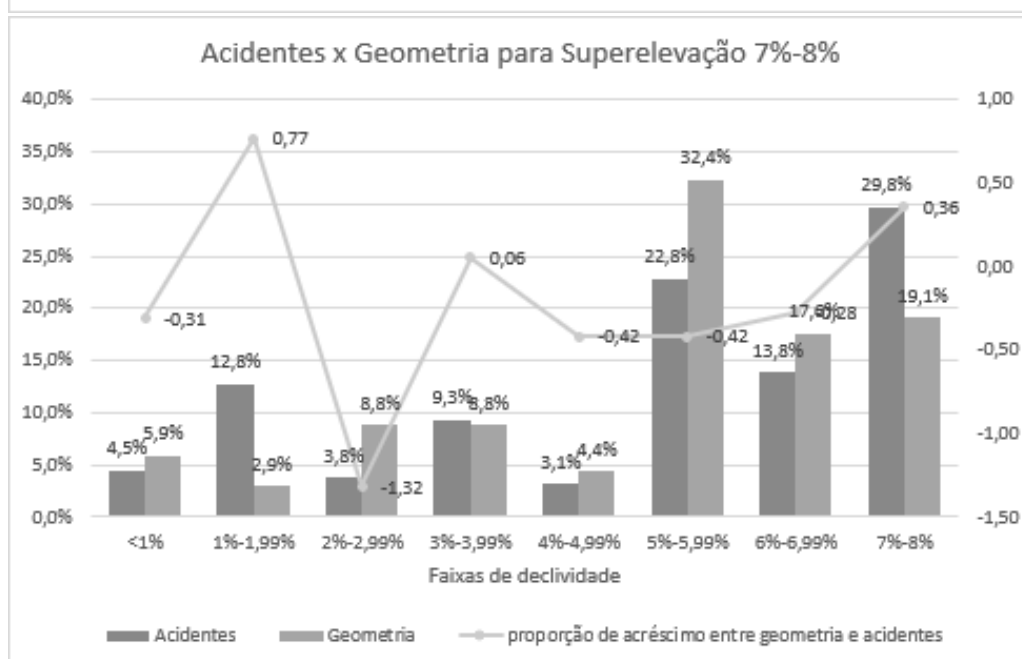
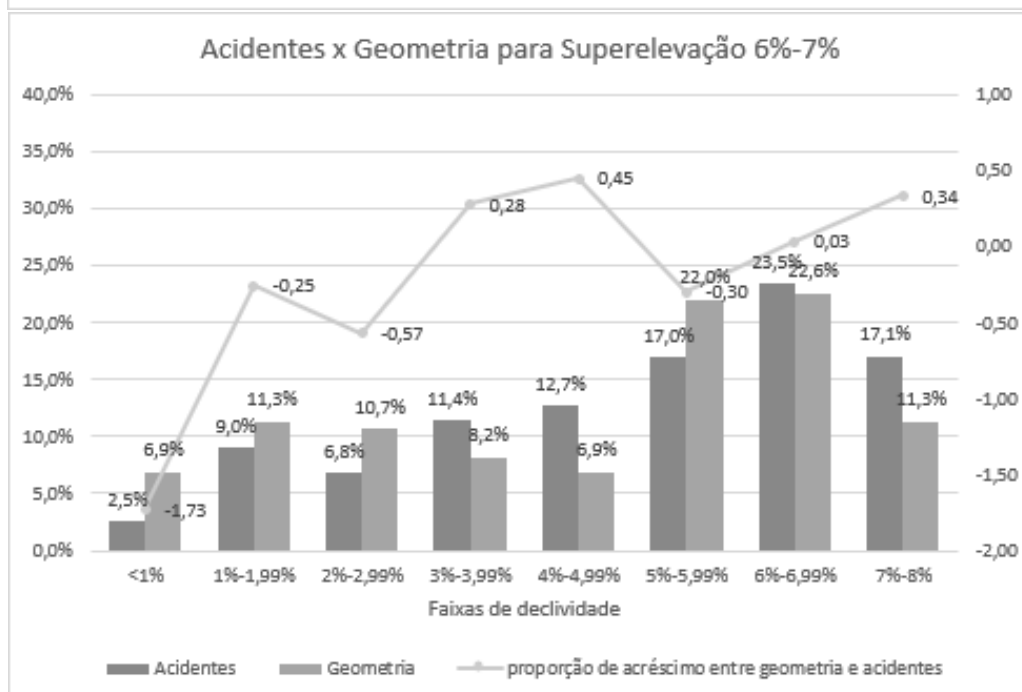
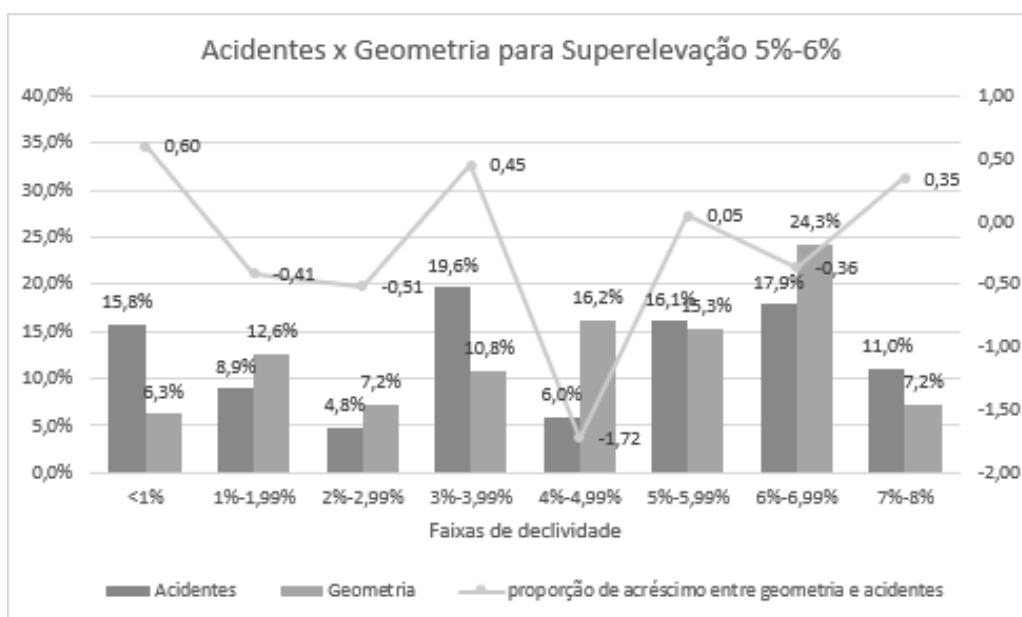
PIV	PONTOS CARACTERÍSTICOS						ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS								
	PCV		PIV		PTV		EM CURVA					EM RAMPA			
	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	e (m)	X1 (m)	X2 (m)	Δi (%)	k (m)	ΔPIV (m)	ΔCota (m)	Comp. (m)	i (%)
PP			0+002,000	669,027								80,837	1,969	23,524	2,44%
1	0+025,524	669,600	0+082,837	670,996	0+140,150	674,697	0,576	57,313	57,313	4,02%	28,500	246,861	15,940	31,446	6,46%
2	0+171,597	676,728	0+329,698	686,937	0+487,799	694,915	-0,558	158,101	158,101	-1,41%	-224,080	314,088	15,849	12,133	5,05%
3	0+499,932	695,527	0+643,786	702,786	0+787,640	712,101	0,514	143,854	143,854	1,43%	201,280	1230,870	79,706	770,056	6,48%
4	1+557,696	761,967	1+874,656	782,491	2+191,616	801,155	-0,465	316,960	316,960	-0,59%	-1079,700	1684,610	99,197	1005,511	5,89%
5	3+197,127	860,364	3+559,266	881,688	3+921,405	902,269	-0,186	362,139	362,139	-0,21%	-3527,980	689,264	39,172	226,959	5,68%
6	4+148,363	915,167	4+248,530	920,860	4+348,697	921,459	-1,273	100,167	100,167	-5,09%	-39,400	790,364	4,726	585,382	0,60%
7	4+934,078	924,959	5+038,894	925,586	5+143,710	932,378	1,541	104,816	104,816	5,88%	35,640	376,143	24,373	212,738	6,48%
8	5+356,447	946,163	5+415,037	949,959	5+473,627	950,903	-0,713	58,590	58,590	-4,87%	-24,070	200,375	3,229	108,896	1,61%
9	5+582,522	952,658	5+615,412	953,188	5+648,302	952,671	-0,262	32,890	32,890	-3,18%	-20,660	107,965	-1,698	2,510	-1,57%
10	5+650,812	952,631	5+723,377	951,490	5+795,942	954,287	0,985	72,565	72,565	5,43%	26,740	695,835	26,823	445,384	3,85%
11	6+241,326	971,456	6+419,212	978,313	6+597,098	975,522	-2,412	177,886	177,886	-5,42%	-65,600	341,133	-5,351	103,969	-1,57%
12	6+701,067	973,891	6+760,345	972,962	6+819,623	975,487	0,864	59,278	59,278	5,83%	20,340	234,479	9,990	87,798	4,26%
13	6+907,420	979,227	6+994,824	982,951	7+082,228	982,670	-1,001	87,404	87,404	-4,58%	-38,150	255,075	-0,821	47,970	-0,32%
14	7+130,197	982,515	7+249,899	982,130	7+369,601	983,401	0,414	119,702	119,702	1,38%	173,020	269,836	2,865	66,474	1,06%
15	7+436,075	984,106	7+519,735	984,995	7+603,395	982,615	-0,817	83,660	83,660	-3,91%	-42,830	235,057	-6,686	14,046	-2,84%
16	7+617,441	982,215	7+754,792	978,308	7+892,143	980,366	1,491	137,351	137,351	4,34%	63,250	296,669	4,445	36,594	1,50%
17	7+928,737	980,915	8+051,461	982,753	8+174,185	977,496	-1,774	122,724	122,724	-5,78%	-42,450	507,871	-21,755	285,863	-4,28%
18	8+460,048	965,251	8+559,332	960,998	8+658,616	964,558	1,953	99,284	99,284	7,87%	25,230	222,560	7,979	50,510	3,59%
19	8+709,125	966,369	8+781,892	968,978	8+854,659	969,185	-0,600	72,767	72,767	-3,30%	-44,100	177,470	0,506	33,793	0,29%
20	8+888,452	969,282	8+959,362	969,484	9+030,272	972,015	0,582	70,910	70,910	3,29%	43,170	388,542	13,872	146,258	3,57%
21	9+176,530	977,237	9+347,904	983,356	9+519,278	983,442	-1,508	171,374	171,374	-3,52%	-97,380	429,628	0,217	117,277	0,05%
22	9+636,555	983,501	9+777,532	983,573	9+918,509	977,754	-1,472	140,977	140,977	-4,18%	-67,490	422,921	-17,456	241,733	-4,13%
23	10+160,242	967,776	10+200,453	966,117	10+240,664	967,219	0,690	40,211	40,211	6,87%	11,710	200,758	5,502	107,697	2,74%
24	10+348,361	970,171	10+401,211	971,619	10+454,061	969,960	-0,777	52,850	52,850	-5,88%	-17,970	178,249	-5,596	69,062	-3,14%

25	10+523,123	967,792	10+579,460	966,023	10+635,797	968,949	1,174	56,337	56,337	8,33%	13,520	215,505	11,193	89,018	5,19%
26	10+724,815	973,572	10+794,965	977,216	10+865,115	976,317	-1,136	70,150	70,150	-6,48%	-21,670	163,584	-2,097	51,660	-1,28%
27	10+916,775	975,654	10+958,549	975,119	11+000,323	977,499	0,729	41,774	41,774	6,98%	11,970	299,574	17,066	197,280	5,70%
28	11+197,603	988,737	11+258,123	992,185	11+318,643	992,832	-0,700	60,520	60,520	-4,63%	-26,160	421,175	4,504	302,706	1,07%
29	11+621,349	996,069	11+679,298	996,688	11+737,247	995,207	-0,525	57,949	57,949	-3,63%	-31,960	300,856	-7,692	182,177	-2,56%
30	11+919,424	990,549	11+980,154	988,996	12+040,884	985,366	-0,519	60,730	60,730	-3,42%	-35,500	579,858	-34,665	436,628	-5,98%
31	12+477,512	959,263	12+560,012	954,331	12+642,512	955,824	1,606	82,500	82,500	7,79%	21,190	593,047	10,736	421,423	1,81%
32	13+063,935	963,453	13+153,059	965,067	13+242,183	960,829	-1,463	89,124	89,124	-6,57%	-27,150	413,128	-19,644	206,741	-4,75%
33	13+448,924	950,999	13+566,187	945,423	13+683,450	946,712	1,716	117,263	117,263	5,85%	40,060	531,605	5,842	280,292	1,10%
34	13+963,742	949,792	14+097,792	951,265	14+231,842	955,692	0,739	134,050	134,050	2,20%	121,650	259,636	8,575	14,726	3,30%
35	14+246,568	956,178	14+357,428	959,840	14+468,288	953,921	-2,395	110,860	110,860	-8,64%	-25,660	309,187	-16,509	139,240	-5,34%
36	14+607,528	946,486	14+666,615	943,331	14+725,702	942,113	0,484	59,087	59,087	3,28%	36,050	370,242	-7,631	242,134	-2,06%
37	14+967,836	937,123	15+036,857	935,700	15+105,878	938,319	1,010	69,021	69,021	5,86%	23,570	462,659	17,557	295,454	3,79%
38	15+401,332	949,531	15+499,516	953,257	15+597,700	950,798	-1,546	98,184	98,184	-6,30%	-31,170	356,046	-8,916	107,277	-2,50%
39	15+704,977	948,112	15+855,562	944,341	16+006,147	951,668	2,775	150,585	150,585	7,37%	40,860	267,356	13,009	13,061	4,87%
40	16+019,208	952,303	16+122,918	957,349	16+226,628	957,137	-1,315	103,710	103,710	-5,07%	-40,910	389,310	-0,798	189,527	-0,20%
41	16+416,155	956,748	16+512,228	956,552	16+608,301	954,659	-0,424	96,073	96,073	-1,77%	-108,840	260,983	-5,142	80,545	-1,97%
42	16+688,847	953,072	16+773,211	951,410	16+857,575	953,620	0,968	84,364	84,364	4,59%	36,760	211,614	5,544	94,585	2,62%
43	16+952,161	956,098	16+984,825	956,954	17+017,489	956,812	-0,249	32,664	32,664	-3,05%	-21,390	249,575	-1,082	122,291	-0,43%
44	17+139,780	956,282	17+234,400	955,872	17+329,020	958,390	0,732	94,620	94,620	3,09%	61,150	207,310	5,517	32,813	2,66%
45	17+361,833	959,263	17+441,710	961,388	17+521,587	960,551	-0,741	79,877	79,877	-3,71%	-43,060	483,808	-5,074	347,221	-1,05%
46	17+868,808	956,909	17+925,518	956,314	17+982,228	953,949	-0,443	56,710	56,710	-3,12%	-36,320	193,654	-8,079	30,371	-4,17%
47	18+012,599	952,681	18+119,172	948,235	18+225,745	951,304	1,879	106,573	106,573	7,05%	30,230	356,176	10,257	141,823	2,88%
48	18+367,568	955,388	18+475,348	958,492	18+583,128	956,588	-1,252	107,780	107,780	-4,65%	-46,390	211,732	-3,741	17,209	-1,77%
49	18+600,337	956,284	18+687,080	954,751	18+773,823	956,347	0,782	86,743	86,743	3,61%	48,090	305,286	5,619	100,786	1,84%
50	18+874,609	958,202	18+992,366	960,369	19+110,123	955,635	-1,725	117,757	117,757	-5,86%	-40,190	498,557	-20,043	284,344	-4,02%
51	19+394,467	944,204	19+490,923	940,326	19+587,379	941,724	1,319	96,456	96,456	5,47%	35,270	910,483	13,194	625,587	1,45%
52	20+212,966	950,790	20+401,406	953,520	20+589,846	951,887	-1,091	188,440	188,440	-2,32%	-162,730	375,671	-3,256	70,386	-0,87%
53	20+660,232	951,277	20+777,077	950,264	20+893,922	950,570	0,330	116,845	116,845	1,13%	207,050	654,249	1,713	262,884	0,26%
54	21+156,806	951,259	21+431,326	951,978	21+705,846	946,540	-1,539	274,520	274,520	-2,24%	-244,820	534,999	-10,597	178,092	-1,98%
55	21+883,938	943,013	21+966,325	941,381	22+048,712	942,865	0,779	82,387	82,387	3,78%	43,570	230,595	4,153	59,498	1,80%
56	22+108,210	943,936	22+196,920	945,534	22+285,630	943,692	-0,860	88,710	88,710	-3,88%	-45,770	220,894	-4,585	88,291	-2,08%
57	22+373,921	941,859	22+417,814	940,948	22+461,707	941,093	0,264	43,893	43,893	2,41%	36,480	252,379	0,834	140,549	0,33%


58	22+602,256	941,558	22+670,193	941,783	22+738,130	940,077	-0,482	67,937	67,937	-2,84%	-47,830	266,700	-6,695	120,529	-2,51%
59	22+858,659	937,052	22+936,893	935,088	23+015,127	935,274	0,538	78,234	78,234	2,75%	56,920	279,370	0,666	57,115	0,24%
60	23+072,242	935,410	23+216,263	935,754	23+360,284	937,577	0,370	144,021	144,021	1,03%	280,320	333,737	4,225	37,183	1,27%
61	23+397,467	938,048	23+550,000	939,979	23+702,533	939,908	-0,501	152,533	152,533	-1,31%	-232,400	327,023	-0,153	42,268	-0,05%
62	23+744,801	939,888	23+877,023	939,826	24+009,245	940,947	0,296	132,222	132,222	0,89%	295,720	675,095	5,722	476,360	0,85%
63	24+485,605	944,984	24+552,118	945,548	24+618,631	945,007	-0,276	66,513	66,513	-1,66%	-80,070	245,557	-1,998	63,872	-0,81%
64	24+682,504	944,487	24+797,675	943,550	24+912,846	941,374	-0,310	115,171	115,171	-1,08%	-214,160	487,126	-9,203	310,945	-1,89%
65	25+223,792	935,499	25+284,801	934,346	25+345,810	933,776	0,145	61,009	61,009	0,95%	127,940	879,386	-8,228	671,612	-0,94%
66	26+017,423	927,492	26+164,187	926,119	26+310,951	923,857	-0,222	146,764	146,764	-0,61%	-484,770	243,082	-3,746	19,713	-1,54%
67	26+330,664	923,553	26+407,269	922,373	26+483,874	924,404	0,803	76,605	76,605	4,19%	36,540	340,175	9,021	176,798	2,65%
68	26+660,672	929,093	26+747,444	931,394	26+834,216	931,216	-0,620	86,772	86,772	-2,86%	-60,740	1117,606	-2,296	962,085	-0,21%
69	27+796,301	929,239	27+865,050	929,098	27+933,799	927,957	-0,250	68,749	68,749	-1,45%	-94,570	253,348	-4,204	115,341	-1,66%
70	28+049,140	926,043	28+118,398	924,894	28+187,656	925,374	0,407	69,258	69,258	2,35%	58,890	267,578	1,854	120,859	0,69%
71	28+308,515	926,211	28+385,976	926,748	28+463,437	924,502	-0,696	77,461	77,461	-3,59%	-43,130	234,856	-6,809	72,032	-2,90%
72	28+535,469	922,414	28+620,832	919,939	28+706,195	920,353	0,722	85,363	85,363	3,38%	50,440	249,050	1,209	30,002	0,49%
73	28+736,197	920,499	28+869,882	921,148	29+003,567	924,176	0,595	133,685	133,685	1,78%	150,220	306,568	6,945	96,514	2,27%
74	29+100,082	926,362	29+176,450	928,092	29+252,818	925,210	-1,153	76,368	76,368	-6,04%	-25,290	321,655	-12,138	172,532	-3,77%
75	29+425,350	918,700	29+498,105	915,954	29+570,860	914,861	0,413	72,755	72,755	2,27%	64,070	424,823	-6,383	242,319	-1,50%
76	29+813,178	911,220	29+922,928	909,571	30+032,678	909,483	0,390	109,750	109,750	1,42%	154,280	444,141	-0,355	169,695	-0,08%
77	30+202,373	909,348	30+367,069	909,216	30+531,765	912,520	0,859	164,696	164,696	2,09%	157,890	350,837	7,039	90,952	2,01%
78	30+622,717	914,345	30+717,906	916,255	30+813,095	916,719	-0,361	95,189	95,189	-1,52%	-125,350	512,616	2,499	300,418	0,49%
79	31+113,512	918,184	31+230,522	918,754	31+347,532	924,762	1,359	117,010	117,010	4,65%	50,360	580,820	29,821	341,319	5,13%
80	31+688,851	942,286	31+811,342	948,575	31+933,833	947,387	-1,869	122,491	122,491	-6,10%	-40,130	565,126	-5,482	393,809	-0,97%
81	32+327,642	943,567	32+376,468	943,093	32+425,294	943,812	0,298	48,826	48,826	2,44%	39,990	274,948	4,047	116,893	1,47%
82	32+542,187	945,532	32+651,416	947,140	32+760,645	946,087	-0,665	109,229	109,229	-2,44%	-89,670	537,468	-5,183	329,900	-0,96%
83	33+090,545	942,906	33+188,884	941,958	33+287,223	942,961	0,488	98,339	98,339	1,98%	99,120	218,778	2,231	2,087	1,02%
84	33+289,311	942,982	33+407,662	944,189	33+526,013	942,566	-0,708	118,351	118,351	-2,39%	-98,980	366,629	-5,028	58,919	-1,37%
85	33+584,933	941,758	33+774,291	939,161	33+963,649	935,494	-0,267	189,358	189,358	-0,56%	-670,650	298,780	-5,785	17,296	-1,94%
86	33+980,945	935,159	34+073,071	933,376	34+165,197	934,128	0,634	92,126	92,126	2,75%	66,940	318,034	2,596	128,348	0,82%
87	34+293,545	935,175	34+391,105	935,972	34+488,665	938,760	0,498	97,560	97,560	2,04%	95,590	293,279	8,381	136,285	2,86%
88	34+624,950	942,654	34+684,384	944,352	34+743,818	944,290	-0,440	59,434	59,434	-2,96%	-40,130	239,612	-0,250	130,652	-0,10%
89	34+874,470	944,154	34+923,996	944,102	34+973,522	945,911	0,465	49,526	49,526	3,76%	26,360	529,093	19,327	412,467	3,65%
90	35+385,989	960,978	35+453,089	963,429	35+520,189	963,901	-0,495	67,100	67,100	-2,95%	-45,500	167,240	1,177	29,804	0,70%

**APÊNDICE C – ANÁLISE DE ACIDENTES VERSUS DECLIVIDADE E
SUPERELEVAÇÃO**





ANEXO A – BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO

	MINISTÉRIO DA JUSTIÇA DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO		PROTOCOLO:
			STATUS:

INFORMAÇÕES GERAIS

POLICIAL/MATRICULA:		DATA/HORA:
Na Rodovia		
MUNICIPIO/UF:		
BR:	KM:	SENTIDO:
DESCRIPTIVO DO LOCAL:		

ASPECTOS DO LOCAL E DO ATENDIMENTO

FASE DO DIA:	CONDIÇÃO METEOROLÓGICA:	
TIPO DE VIA:	TIPO DE PISTA:	CONDIÇÃO DE PISTA:
TIPO DE PAVIMENTO:	ESTRUTURA VIARIA:	
LOCALIDADE URBANIZADA:	EXISTENCIA DE ACOSTAMENTO:	EXISTÊNCIA DE CANTEIRO CENTRAL:

IMAGEM PANORÂMICA - SENTIDO CRESCENTE 	IMAGEM PANORÂMICA - SENTIDO DECRESCENTE 
--	---

IMAGEM DO LOCAL 	
--	--

DANO AO PATRIMÔNIO PÚBLICO: Dano a uma placa de regulamentação de velocidade R-19. Dano a um poste de iluminação pública no canteiro central da rodovia.
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DO ACIDENTE:



MINISTÉRIO DA JUSTIÇA
DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODoviÁRIA FEDERAL
BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO



PROTOCOLO:
XXXXXXXXXX

STATUS:

IMAGEM ADICIONAL

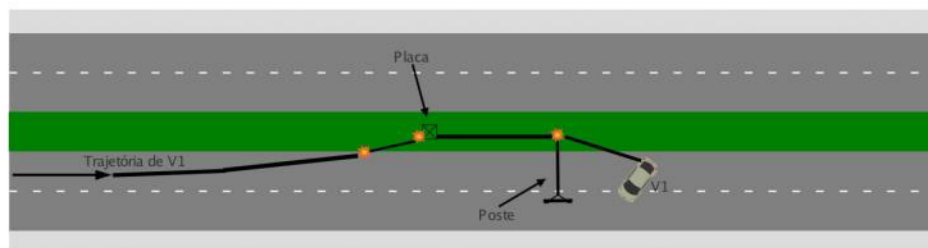


DINÂMICA

Eventos Sucessivos

Ordem	Tipo de Evento	Veículos Envolvidos
1	Saída de leito carroçável	V1
2	Colisão com objeto estático	V1

Croqui



← SÃO MARCOS

NOVA PETRÓPOLIS →

DOCUMENTO ASSINADO DIGITALMENTE PELO PRF XXXX, MATRÍCULA 000000

DATA/HORA DE ENCERRAMENTO DA OCORRÊNCIA: 12/11/2017 07:41

NÚMERO DE CONTROLE: A1B2C3D4E5F6G7H8I9

VERIFICAÇÃO DE AUTENTICIDADE NA INTERNET: www.prf.gov.br/novobat/autenticar

Página 2 de 9



MINISTÉRIO DA JUSTIÇA
DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODoviÁRIA FEDERAL
BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO



PROTOCOLO:
XXXXXXXXXX

STATUS:

Narrativa

DOCUMENTO ASSINADO DIGITALMENTE PELO PRF XXXX, MATRÍCULA 00000

DATA/HORA DE ENCERRAMENTO DA OCORRÊNCIA: 12/11/2017 07:41

NÚMERO DE CONTROLE: A1B2C3D4E5F6G7H8I9

VERIFICAÇÃO DE AUTENTICIDADE NA INTERNET: www.prf.gov.br/novobat/autenticar

Página 3 de 9

	MINISTÉRIO DA JUSTIÇA DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODoviÁRIA FEDERAL BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO		PROTOCOLO: XXXXXXXXX
			STATUS:

VEÍCULOS

SEQUENCIAL:	PLACA:	MARCA/MODELO:	ANO FABRICAÇÃO:
SITUAÇÃO:		TIPO DE VEICULO:	
CHASSI:	RENAVAM:	PAIS: BRASIL	
ESPECIE:	CATEGORIA:	MANOBRA NO MOMENTO DO ACIDENTE:	

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES:

NOME DO PROPRIETÁRIO:	CPF/CNPJ:
-----------------------	-----------

Dados de Endereço

LOGRADOURO:	NUMERO:
COMPLEMENTO:	BAIRRO:
MUNICIPIO/UF:	
TELEFONE:	EMAIL:

Dados da Carga


DESCRIÇÃO E INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES:

Encaminhamento

MOTIVO:	TIPO DE RECEPTOR:
---------	-------------------

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES:

IMAGEM COMPLEMENTAR 	IMAGEM ADICIONAL 
--	--

	MINISTÉRIO DA JUSTIÇA DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODoviÁRIA FEDERAL BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO		PROTOCOLO: XXXXXXXXXX
			STATUS:

PESSOAS		
SEQUENCIAL/PLACA/MARCA/MODELO:		ENVOLVIMENTO:
NOME:	CPF:	DATA DE NASCIMENTO:
Nº DE IDENTIFICAÇÃO:	ORGAO EXPEDIDOR:	SEXO:
ESTADO CIVIL:	NOME DA MAE:	
Dados de Endereço		
LOGRADOURO:		NUMERO:
COMPLEMENTO:	BAIRRO:	
MUNICIPIO/UF:		
TELEFONE:	EMAIL:	
Circunstâncias		
ESTADO FISICO:	USAVA CINTO DE SEGURANÇA:	
USAVA CAPACETE:	USAVA DISPOSITIVO PARA RETENÇÃO DE CRIANÇAS:	
TESTE DO ETILÔMETRO FOI POSSIVEL:	RESULTADO DO TESTE:	RECUSOU-SE A REALIZAR O TESTE:
DESCRIÇÃO DA IMPOSSIBILIDADE DE REALIZAÇÃO DO TESTE:		
VISIVEIS SINAIS DE EMBRIAGUEZ:	SINAIS DE USO DE SUBSTANCIAS PSICOATIVAS:	
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DA PESSOA ENVOLVIDA:		

	MINISTÉRIO DA JUSTIÇA DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODoviÁRIA FEDERAL BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO		PROTOCOLO: 17086893B01
			STATUS: Encerrado

PESSOAS		
SEQUENCIAL/PLACA/MARCA/MODELO:		ENVOLVIMENTO:
NOME:	CPF:	DATA DE NASCIMENTO:
Nº DE IDENTIFICAÇÃO:	ORGAO EXPEDIDOR:	SEXO:
ESTADO CIVIL:	NOME DA MAE:	
Dados de Endereço		
LOGRADOURO:		NUMERO:
COMPLEMENTO:	BAIRRO:	
MUNICIPIO/UF:		
TELEFONE:	EMAIL:	
Circunstâncias		
ESTADO FISICO:	USAVA CINTO DE SEGURANÇA:	
USAVA CAPACETE:	USAVA DISPOSITIVO PARA RETENÇÃO DE CRIANÇAS:	
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DA PESSOA ENVOLVIDA:		



MINISTÉRIO DA JUSTIÇA
DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODoviÁRIA FEDERAL
BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO



PROTOCOLO:
17086893B01

STATUS:
Encerrado

IMAGEM DA DECLARAÇÃO

Ministério da Justiça

TCO **PRF**

Termo Circunstanciado de Ocorrência
Nº _____

DECLARAÇÃO

Autor Vítima Testemunha

NOME: _____

Caxias do Sul 11 de Novembro de 2017

ENVOLVIDO



DOCUMENTO ASSINADO DIGITALMENTE PELO PRF XXXX, MATRÍCULA 00000

DATA/HORA DE ENCERRAMENTO DA OCORRÊNCIA: 12/11/2017 07:41

NÚMERO DE CONTROLE: A1B2C3D4E5F6G7H8I9

VERIFICAÇÃO DE AUTENTICIDADE NA INTERNET: www.prf.gov.br/novobat/autenticar

Página 7 de 9

	MINISTÉRIO DA JUSTIÇA DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODoviÁRIA FEDERAL BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO		PROTOCOLO: 17086893B01
			STATUS: Encerrado

AVALIAÇÃO DE DANOS				
SEQUENCIAL/PLACA/MARCA/MODELO:			NUMERO DO BAT:	
NOME/MATRICULA DO AGENTE:			DATA/HORA: 11/11/2017 23:26	
Item	Descrição do Item	Item danificado no acidente		
		SIM	NÃO	NA
1	Painel corta-fogo			
2	Longarina dianteira esquerda			
3	Caixa de roda dianteira esquerda			
4	Estrutura da soleira esquerda			
5	Air Bags Frontais			
6	Air Bags Laterais			
7	Estrutura da coluna dianteira esquerda			
8	Estrutura da coluna central esquerda			
9	Estrutura da coluna traseira esquerda			
10	Caixa de roda traseira esquerda			
11	Assoalho central esquerdo			
12	Longarina traseira esquerda			
13	Assoalho portamalás ou caçamba			
14	Longarina traseira direita			
15	Caixa de roda traseira direita			
16	Estrutura da coluna traseira direita			
17	Estrutura da soleira direita			
18	Estrutura da coluna central direita			
19	Estrutura da coluna dianteira direita			
20	Assoalho central direito			
21	Caixa de roda dianteira direita			
22	Longarina dianteira direita			
TOTAL GERAL (SIM + NA):			DIMENSÃO DA MONTA:	

DOCUMENTO ASSINADO DIGITALMENTE PELO PRF XXXX, MATRICULA 00000 DATA/HORA DE ENCERRAMENTO DA OCORRÊNCIA: 12/11/2017 07:41 NÚMERO DE CONTROLE: A1B2C3D4E5F6G7H8I9 VERIFICAÇÃO DE AUTENTICIDADE NA INTERNET: www.prf.gov.br/novobat/autenticar	Página 8 de 9
---	---------------



 <p style="text-align: center;">MINISTÉRIO DA JUSTIÇA DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODoviÁRIA FEDERAL BOLETIM DE ACIDENTE DE TRÂNSITO</p> 	PROTOCOLO: XXXXXXXXXX
	STATUS:

IMAGEM DA FRENTE (V1)	IMAGEM DA TRASEIRA (V1)
-----------------------	-------------------------



IMAGEM DA LATERAL ESQUERDA (V1)	IMAGEM DA LATERAL DIREITA (V1)
---------------------------------	--------------------------------



DOCUMENTO ASSINADO DIGITALMENTE PELO PRF XXXX, MATRÍCULA 00000	
DATA/HORA DE ENCERRAMENTO DA OCORRÊNCIA: 12/11/2017 07:41	NÚMERO DE CONTROLE: A1B2C3D4E5F6G7H8I9
VERIFICAÇÃO DE AUTENTICIDADE NA INTERNET: www.prf.gov.br/novobat/autenticar	

ANEXO B – PARÂMETROS MÍNIMOS E MÁXIMOS POR CLASSE DE PROJETO

DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Unid.	CLASSE 0			CLASSE I			CLASSE II			CLASSE III			CLASSE IV A			CLASSE IV B		
		Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.
Velocidade diretriz mínima	km/h	120	100	80	100	80	60	100	70	50	80	60	40	80	60	40	60	40	30
Distância mínima de visibilidade de parada:																			
Mínimo desejável	m	310	210	140	210	140	85	210	110	65	140	85	45	140	85	45	85	45	30
Mínimo absoluto	m	205	155	110	155	110	75	155	90	60	110	75	45	110	75	45	75	45	30
Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem:	m	–	–	–	680	560	420	680	490	350	560	420	270	560	420	270	420	270	180
Raio mínimo de curva horizontal (p/superelevação máx)	m	540	345	210	345	210	115	375	170	80	230	125	50	230	125	50	125	50	25
Taxa de superelevação máxima	%	10	10	10	10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Rampa máxima:																			
Máximo desejável	%	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Máximo absoluto	%	3	4	5	3	4,5	6	3	5	7	4	6	8	4	6	8	6	8	10
Valor de K para curvas verticais convexas:																			
Mínimo desejável	m/%	233	107	48	107	48	18	107	29	10	48	18	5	48	18	5	18	5	2
Mínimo absoluto	m/%	102	58	29	58	29	14	58	20	9	29	14	5	29	14	5	14	5	2
Valor de K para curvas verticais côncavas:																			
Mínimo desejável	m/%	80	52	32	52	32	17	52	24	12	32	17	7	32	17	7	17	7	4
Mínimo absoluto	m/%	50	36	24	36	24	15	36	19	11	24	15	7	24	15	7	15	7	4
Largura de faixa de rolamento:																			
Mínimo desejável	m	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Mínimo absoluto	m	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,50	3,30	3,50	3,30	3,30	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50
Largura do acostamento externo:																			
Mínimo desejável	m	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Mínimo absoluto	m	3,50	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,00	2,50	2,00	1,50	1,30	1,30	0,80	1,00	1,00	0,50
Largura do acostamento externo:																			
Pista de 2 faixas	m	0,60–1,20	0,60–1,00	0,50–0,60	Somente para Classe IA: Aplicam-se os mesmos valores indicados para Classe 0			–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Pista de 3 faixas	m	2,50–3,00	2,00–2,50	2,00–2,50				–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Pista de 4 faixas	m	3	2,50–3,00	2,50–3,00				–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Gabarito mínimo vertical (altura livre):																			
Mínimo desejável	m	–	–	–	–	–	–	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
Mínimo absoluto	m	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Afastamento mínimo do bordo do acostamento:																			
Obstáculos contínuos	m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Obstáculos isolados	m	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Largura do canteiro central:																			
Largura desejável	m	10–18	10–18	10–18	10–12	10–12	10–12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Valor normal	m	6–7	6–7	6–7	≥6	≥6	≥6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Mínimo absoluto	m	3–7	3–7	3–7	3–7	3–7	3–7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Faixa de domínio (segundo DNER, 1973 e DAER, 1991)																			
Largura	m	–	–	–	60	70	80	30	40	50	30	40	50	–	–	–	–	–	–
Largura mínima além dos offsets	m	–	–	–	10	10	10	10	10	10	10	10	10	–	–	–	–	–	–