



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MÁRCIA REJANE OLIVEIRA BARROS CARVALHO MACEDO

**METODOLOGIA BASEADA EM SIG PARA PREDIÇÃO DE ACIDENTES EM
RODOVIAS RURAIS PISTA SIMPLES**

Recife

2020

MÁRCIA REJANE OLIVEIRA BARROS CARVALHO MACEDO

**METODOLOGIA BASEADA EM SIG PARA PREDIÇÃO DE ACIDENTES EM
RODOVIAS RURAIS PISTA SIMPLES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil.

Área de concentração: Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Leonor Alves Maia.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani.

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M141m Macedo, Márcia Rejane Oliveira Barros Carvalho
 Metodologia baseada em SIG para predição de acidentes em rodovias
 rurais pista simples / Márcia Rejane Oliveira Barros Carvalho Macedo -
 2020.
 213 folhas, il., gráfs., tabs.

 Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Leonor Alves Maia.
 Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani.
 Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.
 Inclui Referências e Anexos.

 1. Engenharia Civil. 2. SIG. 3. Modelo de predição de acidentes. 4.
 EEG. 5. Curvatura horizontal. I. Maia, Maria Leonor Alves (Orientadora).
 II. Rabbani, Emilia Rahnemay Kohlman (Coorientadora). III. Título

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-179

MÁRCIA REJANE OLIVEIRA BARROS CARVALHO MACEDO

**METODOLOGIA BASEADA EM SIG PARA PREDIÇÃO DE ACIDENTES EM
RODOVIAS RURAIS PISTA SIMPLES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil da Universidade Federal de
Pernambuco como requisito parcial para obtenção
do grau de Doutora em Engenharia Civil

Aprovada em 28/05/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maria Leonor Alves Maia (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ricardo Almeida de Melo (Examinador externo)
Universidade Federal da Paraíba

Prof.^a Dr.^a Jocilene Otília da Costa (Examinadora externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Lucilene Antunes Correia Marques de Sá (Examinadora externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Para Bianca (moedinha de 1 real) e Ana Luiza (pérola negra), minhas filhas, por todo o tempo em que abriram mão de mim. Que eu seja um exemplo para vocês de que só estudando conquistamos a verdadeira liberdade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à **Deus**, meu refúgio e fortaleza, por sempre iluminar meu caminho.

Aos **meus pais**, que na simplicidade de quem apenas concluiu o ensino fundamental, entenderam e me ensinaram que a educação muda o ser humano para melhor.

À minha tia **Tata**, que abriu mão de sua vida para cuidar de mim desde que nasci e das minhas filhas para que eu pudesse trabalhar e estudar.

Ao meu esposo **Marlos Macedo** pelo apoio e superação ao longo de 20 anos. Obrigada por nossa família.

Às minhas filhas **Bianca e Ana Luiza**. Vocês são meu combustível e eu quero ser exemplo pra vocês.

Aos meus irmãos **Márcio e Wellington** pelo apoio e compreensão nas minhas ausências.

À Professora **Nona**, minha orientadora, suas aulas despertaram minha admiração desde o início.

Ao Prof. **Oswaldo Cavalcanti** um agradecimento muito especial por todo apoio metodológico e conceitual. Mesmo quando os impedimentos burocráticos não permitiram que a sua orientação continuasse formalmente, o senhor não desistiu do projeto, num exemplo de compromisso e amor à pesquisa.

Ao Prof. **Maurício Andrade** por todos os conselhos, todos os esclarecimentos e ajuda.

Aos professores **Leonardo Meira, Enilson Santos e Anísio Brasileiro** pelos ensinamentos.

À **Profª. Emília** pela co-orientação e pela sugestão da escolha da temática desta Tese. Muito mais do que uma amiga é uma irmã que a vida me deu de presente.

À minha amiga **Jéssica** pelo incentivo, pelo apoio nas inúmeras vezes que precisei do seu ombro amigo.

À minha turma do “**vai de busão**”, Claudinha, Fred, Lili, Luis Henrique, Luiz Guimarães, André Fillipe, Aldrin, Lígia, Bel, Ronaldo e Douglas pelos bastidores.

As meninas da secretaria, **Andréa e Cleide**, pela atenção e cuidado durante todo esse tempo.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, **Paulo Carvalho** pela aquisição de todo material da Agência Condepe/FIDEM e **Manoel Marinho** por todos os esclarecimentos de estatística.

Ao meu amigo **Júlio Ramos** por todo suporte na ANTT.

À Universidade de Pernambuco, representada pelos diretor **José Roberto Cavalcanti** e vice-diretor **Alexandre Gusmão** da Escola Politécnica de Pernambuco, por todo apoio institucional enquanto coordenadora do curso de Engenharia Civil, pela amizade e apoio financeiro para desenvolvimento da pesquisa.

“Os acidentes de trânsito custam vidas!”

(A Autora, 2020)

RESUMO

Essa tese aborda o problema relativo a infraestrutura rodoviária e acidentes de trânsito. Seu principal objetivo é desenvolver uma metodologia para predição de acidentes em rodovias rurais pista simples focando no efeito das curvas horizontais através do uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para apoiar a tomada de decisão sobre a aplicação dos recursos destinados ao melhoramento das condições de segurança da via. Como hipótese dessa pesquisa infere-se que é possível desenvolver uma metodologia para avaliar e analisar impacto que a geometria da via (curva horizontal) impõe no aumento no número e na severidade de acidentes em rodovias rurais pista simples e esta pode ser modelada através da combinação de modelos estatísticos tradicionais e análises espaciais para predição de acidentes utilizando SIG. Como estudo empírico da tese foi elaborado um modelo de predição de acidentes para rodovias rurais pista simples. Um banco de dados foi elaborado para associar os registros de acidentes aos parâmetros geométricos da rodovia e preencher as lacunas deixadas pela ausência de projetos geométricos através da reconstituição geométrica ou extração semiautomática de rodovias através de imagens de satélites. O método de Equações de Estimativas Generalizadas (EEG), foi aplicado para estimar os coeficientes do modelo, assumindo a distribuição negativa do erro binomial para a contagem de acidentes observados. Foram analisadas a frequência dos acidentes, o trânsito médio diário anual (VDMA), as características espaciais e geométricas de 215km de rodovias federais rurais pista simples, entre os anos de 2007 e 2016. O procedimento EEG foi aplicado em dois modelos com três variações de segmentações homogêneas distintas, duas baseadas em segmentos e uma baseada no estimador de densidade de kernel. Para avaliar o efeito do trânsito constante, foram consideradas mais duas variações dos modelos com o VDMA como variável *offset*. A estrutura de correlação predominante nos modelos foi a permutável. Os principais fatores contribuintes para a ocorrência das colisões foram raio da curva horizontal, greide, comprimento do segmento e o VDMA. A pesquisa produziu indicadores claros dos parâmetros de projeto das rodovias que influenciam o desempenho da segurança das rodovias rurais.

Palavras-chave: SIG. Modelo de Predição de Acidentes. EEG. Curvatura Horizontal.

ABSTRACT

This thesis addresses the problem related to road infrastructure and traffic crash. The goal is to develop a methodology for the prediction of crashes on rural single lane highways focusing on the effect of horizontal curves through the use of Geographic Information System (GIS) to support decision-making on the application of resources aimed at improving road safety conditions. As a working hypothesis, it is inferred that it is possible to develop a methodology to assess and analyze the impact that road geometry (horizontal curve) imposes on the increase in the number and severity of accidents on rural highways, which can be modeled by combining traditional statistical models and spatial analysis to predict accidents using GIS. As an empirical study, an accident prediction model for single-lane rural highways was developed. A database was created to associate the accident records with the geometric parameters of the highway and fill in the gaps left by the absence of geometric designs through geometric reconstitution or semi-automatic extraction of highways from satellite images. The Generalized Estimating Equation method, based on Generalized Linear Methods, was applied to estimate the model coefficients, assuming a negative distribution of the binomial error for the observed accident count. Frequency of accidents, average daily traffic (VDMA), spatial and geometric characteristics of 215km of rural federal single lane highways between 2007 and 2016 were analyzed. The EEG procedure was applied to two models with three different homogeneous segmentation variations, two based on segments and one based on the kernel density. To assess the effect of constant traffic, two variations of the models were considered with the VDMA as an offset variable. The predominant correlation structure in the models was the exchangeable one. The main contributing factors to the occurrence of crash were the horizontal curve radius, greide, segment length and the VDMA. The research produced clear indicators for highway design parameters that influence the safety performance of rural highways.

Keywords: GIS. Accident Prediction Model. GEE. Horizontal Curves.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Número de Óbitos por Região em Rodovias Federais no Brasil	33
Figura 2 –	Número de Óbitos por Tipo de Uso do Solo em Rodovias Federais no Brasil	34
Figura 3 –	Fatores que contribuem para acidentes de trânsito e sua inter-relação .	42
Figura 4 –	Códigos de desagregação da rodovia	55
Figura 5 –	Disposição dos limites originais de segmentos e interseções do HSM	58
Figura 6 –	Fluxograma da Metodologia Proposta	98
Figura 7 –	Função para redução do número de vértices	102
Figura 8 –	Tabela da reconstrução do alinhamento no <i>AutoCad Civil 3D</i>	103
Figura 9 –	Tabela do alinhamento no <i>AutoCad Civil 3D</i>	106
Figura 10 –	Área de Estudo	119
Figura 11 –	Tabela consolidada do banco de dados de acidentes	121
Figura 12 –	Gráfico da Comparação entre o Total de acidentes, Acidentes Graves e Acidentes Fatais entre os anos de 2007 a 2016 do trecho estudado na BR 232-PE	121
Figura 13 –	Representação da identificação e combinação do algoritmo	122
Figura 14 –	Distribuição espacial dos acidentes graves ocorridos em curvas no período noturno no em 2016	124
Figura 15 –	<i>Boxplot</i> para a distribuição do número de ocorrências de acidentes de trânsito com feridos graves, feridos moderados e feridos leves, registrados na área de estudo, no período de 2007 a 2016	126
Figura 16 –	<i>Boxplot</i> para a distribuição do número de ocorrências de acidentes de trânsito com Vítimas Fatais e sem Vítimas, registrados na área de estudo, no período de 2007 a 2016	127
Figura 17 –	Resultados do Teste de não-paramétrico de Friedman para análise da frequência dos acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco, de acordo com a severidade	131
Figura 18 –	Tabela de segmentos homogêneos HSM	138

Figura 19 –	Tabela de segmentos contíguos às curvas com um afastamento de 50m	139
Figura 20 –	Tabela de segmentos homogêneos considerando critérios espaciais	141
Figura 21 –	Tabela de dados de acidentes por segmento	142
Figura 22 –	Gráfico do percentual dos tipos de acidentes ocorridos em curvas com greide negativo no período de 2007 a 2016	142
Figura 23 –	Distribuição espacial dos acidentes graves ocorridos em curvas no período noturno no em 2016	143
Figura 24 –	Gráfico da distribuição dos acidentes ocorridos em tangentes e curvas no período de 2007 a 2016	143
Figura 25 –	CURE <i>Plot</i> para os modelos desenvolvidos (1 e 2)	150
Figura 26 –	CURE <i>Plot</i> para os modelos desenvolvidos (3 e 4)	150
Figura 27 –	Exemplo de categoria criada para análise com base em faixas fixas de valores	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores do coeficiente k de acordo com a curva normal	54
Tabela 2 –	Índice de categorização dos segmentos Método PARE	57
Tabela 3 –	Custo médio dos acidentes de trânsito no Brasil com base em UPS	57
Tabela 4 –	Arredondamento considerado para segmentação de trechos homogêneos referente a largura das faixas	59
Tabela 5 –	Arredondamento considerado para segmentação de trechos homogêneos referente a largura dos acostamentos pavimentados	60
Tabela 6 –	Índice de categorização dos segmentos Método HSM	62
Tabela 7 –	Volumes Médios Diários Anuais (2013 a 2016) do trecho estudado na BR 232-PE	120
Tabela 8 –	Volumes Médios Diários Anuais (2007 a 2012) do trecho estudado na BR 232-PE	120
Tabela 9 –	Variáveis necessárias ou desejáveis para o modelo de predição de acidentes	123
Tabela 10 –	Valores dos testes de normalidade por severidade da frequência de acidentes em rodovias pista simples para o Estado de Pernambuco	125
Tabela 11 –	Estatística descritiva por severidade da frequência de acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco	129
Tabela 12 –	Resultados do teste t independente para análise da influência do traçado na severidade dos acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco	129
Tabela 13 –	Resultados do Teste de <i>Levene</i> para análise da homogeneidade das variâncias dos acidentes de acordo com a severidade em rodovias pista simples do estado de Pernambuco	130
Tabela 14 –	Resultados do teste de não-paramétrico de <i>Mann-Whitney</i> para análise da influência do traçado na severidade dos acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco	130
Tabela 15 –	Distribuição percentual por severidade da frequência de acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco	132

Tabela 16 –	Distribuição percentual por tipo e severidade de acidentes em rodovias pista simples de Pernambuco	132
Tabela 17 –	Análises da distribuição da frequência de acidentes por faixa etária em rodovias pista simples de Pernambuco	134
Tabela 18 –	Resultados do teste Chi-quadrado para a distribuição da frequência de acidentes por faixa etária em rodovias pista simples de Pernambuco	134
Tabela 19 –	Análise da distribuição da frequência de acidentes por dia da semana em rodovias pista simples de Pernambuco	135
Tabela 20 –	Estatísticas descritivas das variáveis estudadas no grupo 1	135
Tabela 21 –	Matrix de correlações entre as variáveis independentes (Rho de Spearman)	136
Tabela 22 –	Exemplo de composição do índice de risco	139
Tabela 23 –	Valores estimados para cálculo do índice de risco	140
Tabela 24 –	Valores estimados para cálculo do índice de risco para as variáveis categóricas Dia da Semana e Faixa Etária	140
Tabela 25 –	Resumo dos modelos estimados	145
Tabela 26 –	Parâmetros estimados, valores de ρ e DP do Modelo 1 para diferentes segmentações	146
Tabela 27 –	Parâmetros estimados, valores de ρ e DP do Modelo 2 para diferentes segmentações	147
Tabela 28 –	Parâmetros estimados, valores de ρ e DP do Modelo 3 para diferentes segmentações	147
Tabela 29 –	Parâmetros estimados, valores de ρ e DP do Modelo 4 para diferentes segmentações	148
Tabela 30 –	Valores de QIC ajustando o modelo 1 com outras estruturas de correlação	148
Tabela 31 –	Valores de QIC ajustando o modelo 2 com outras estruturas de correlação	149
Tabela 32 –	Valores de QIC ajustando o modelo 3 com outras estruturas de correlação	149

Tabela 33 –	Valores de QIC ajustando o modelo 4 com outras estruturas de correlação	149
Tabela 34 –	Parâmetros de validação dos modelos	151
Tabela 35 –	Parâmetros estimados e efeitos do modelo preditivo binomial negativo log-linear	153
Tabela 36 –	Mudanças no nível previsto do risco de acidentes em curvas	155

LISTA DE SIGLAS

ANTP	Agência Nacional de Transportes Públicos
APP	Análise de Padrões Pontuais
AT	Acidentes de Trânsito
BO	Boletim de Ocorrência
CDS	Crashworthiness Data System
CENEPI	Centro Nacional de Epidemiologia
CID-10	Classificação Internacional de Doenças
CNM	Confederação Nacional dos Municípios
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DO	Declaração de Óbito
DSV	Desempenho da Segurança Viária
EEG	Equações de Estimativas Generalizadas
EPDO	Equivalent Property Damage Only
FARS	Sistema de Notificação de Análise de Fatalidade
GES	General Estimatives System
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
HSM	Highway Safety Manual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDME	Índice de Dano Material Equivalente
IML	Instituto Médico Legal
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ITF	International Transport Forum
IRTAD	Banco de Dados Internacional Sobre Trânsito Rodoviário e Acidentes
MLG	Modelos Lineares Generalizados
MPA	Modelos De Previsão De Acidentes

MS	Ministério da Saúde
MUARC	Centro de Pesquisas de Acidentes da Universidade de Monash
NASS	Sistema Nacional de Amostragem Automotiva
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
OMS	Organização Mundial da Saúde
SIM	Sistema de Informações Sobre Mortalidade
ONU	Organização das Nações Unidas
OSM	Open Street Map
PARE	Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito
PNV	Plano Nacional de Viação
PPA	Point Pattern Analysis
PRF	Polícia Rodoviária Federal
RPGP	Regressão de Poisson Geograficamente Ponderada
RO	Registro de Ocorrência
RSI	Índice de Severidade Relativa
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SUS	Sistema Único de Saúde
TCU	Tribunal de Contas da União

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	HIPÓTESE DA PESQUISA	31
1.2	OBJETIVOS	31
1.2.1	Geral	32
1.2.2	Específicos	32
1.3	JUSTIFICATIVA	32
1.4	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	38
1.5	ESTRUTURA DA TESE	39
2	SEGURANÇA VIÁRIA E ACIDENTES DE TRÂNSITO	40
2.1	FATORES CONTRIBUINTES PARA OS ACIDENTES DE TRÂNSITO ...	41
2.2	SISTEMA DE COLETA DE DADOS NO BRASIL	42
2.2.1	Base de dados do DENATRAN	44
2.2.2	Base de dados do Ministério da Saúde	45
2.2.3	Base de dados dos Seguros DPVAT	45
2.2.4	Base de dados da DPRF	46
2.3	SISTEMA DE COLETA DE DADOS EM OUTROS PAÍSES	47
2.4	SEGMENTAÇÃO HOMOGÊNEA E IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS	51
2.4.1	Métodos do Programa PARE	55
2.4.2	Métodos do HSM	58
2.4.3	Método baseado em Análises Espaciais	62
2.4.4	Discussão sobre os métodos	64
3	PREVISÃO DE ACIDENTES NA SEGURANÇA VIÁRIA	67
3.1	VARIÁVEIS ENVOLVIDAS NA MODELAGEM	68
3.2	MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES	74
3.2.1	Modelos de previsão de acidentes baseados em características geométricas e de tráfego para rodovias rurais pista simples	80
4	GEOPROCESSAMENTO APLICADO À SEGURANÇA VIÁRIA	84
4.1	USO E APLICAÇÕES DE SIG EM SEGURANÇA VIÁRIA	86

4.2	MODELAGEM DOS DADOS PARA ANÁLISES ESPACIAIS	88
4.2.1	Tratamento espacial de dados de acidentes de trânsito	89
4.2.1.1	Modelagem de Dados Espaciais.....	89
4.2.1.2	Coleta e qualidade dos dados	89
4.2.1.3	Rede digital de rodovias	91
4.2.1.4	Projeto lógico (banco de dados geográficos).....	94
4.2.1.5	Georreferenciamento dos dados de acidentes de trânsito	94
4.2.1.6	Estrutura dos Dados	96
4.2.1.7	Projeto físico (implementação dos dados)	97
5	METODOLOGIA PROPOSTA PARA PREDIÇÃO DE ACIDENTES BASEADA EM SIG	98
5.1	COLETA DOS DADOS	99
5.1.1	Dados de acidentes de trânsito	99
5.1.2	Dados de rodovias	100
5.1.3	Volume de tráfego	100
5.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS	100
5.2.1	Rede digital de rodovias – Banco de Curvas	101
5.2.2	Base de dados digital	105
5.2.2.1	Modelagem e entrada dos dados descritivos dos acidentes de trânsito e do VMDA	105
5.2.2.2	Modelagem e entrada dos dados das curvas	106
5.2.2.3	Modelagem e entrada dos dados da rodovia	107
5.2.2.4	Integração das bases de dados	108
5.2.3	Seleção das variáveis	108
5.3	IDENTIFICAÇÃO DOS TRECHOS HOMOGÊNEOS	111
5.3.1	Identificação dos trechos homogêneos pelo método do HSM	111
5.3.2	Identificação dos trechos homogêneos pelas características espaciais	111
5.4	ESCOLHA DO MODELO ESTATÍSTICO	112
5.4.1	Modelo proposto	112
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	119
6.1	ESTUDO DE CASO	119

6.2	TESTES ESTATÍSTICOS PARA SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO PROPOSTO	123
6.3	SEGMENTAÇÃO HOMOGÊNEA DA RODOVIA BR-232	137
6.4	CALIBRAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	143
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	156
	REFERÊNCIAS	161
	ANEXO A - DADOS DAS CURVAS OBTIDOS APÓS A CRIAÇÃO DO ALINHAMENTO NO AUTOCAD CIVIL 3D.....	182
	ANEXO B - COMPILAÇÃO DOS FATORES CONTRIBUINTES PARA ACIDENTES DE TRÂNSITO BASEADO NO TRABALHO DE CHAGAS (2011).....	201

1 INTRODUÇÃO

A cada ano, a vida de aproximadamente 1,35 milhão de pessoas é interrompida devido a um acidente de trânsito. Entre 20 e 50 milhões de pessoas sofrem lesões não fatais, muitas delas resultando em incapacidade. Embora concentrem, aproximadamente, 60% dos veículos do mundo os países de baixa e média renda totalizam 93% das mortes no trânsito e são a principal causa de morte entre jovens de 5 a 29 anos de idade ([OPAS/OMS, 2019](#)).

Os acidentes de trânsito (AT) no Brasil destacam-se tanto pelo elevado índice de mortos e feridos quanto pelos fortes impactos sobre o orçamento público e a renda das famílias atingidas. De acordo com um *ranking* mundial da Organização Mundial da Saúde - OMS ([OPAS, 2016](#)), foram registradas 37.345 mortes de trânsito em 2016, que é o último ano com dados disponíveis no Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), do Ministério da Saúde. O número é 14,8% menor do que o registrado, por exemplo, em 2014, quando ocorreram 43.870 óbitos no trânsito brasileiro, no entanto, o País segue longe da meta estabelecida pela Organização das Nações Unidas (ONU), que prevê redução de 50% no número de vítimas em 10 anos, contados a partir de 2011, e ocupa o quinto lugar entre os países recordistas em mortes no trânsito, atrás somente da Índia, China, Estados Unidos e Rússia.

Em 2016 foram registrados 301.351 acidentes, dos quais 169.163 ocorreram em rodovias federais fiscalizadas pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) o que representa aproximadamente 56% do total de acidentes. Dos acidentes ocorridos nas rodovias federais 4% (6776) dos acidentes apresentaram vítimas fatais; 37%, vítimas com ferimentos; e 59% foram acidentes sem vítimas. Aproximadamente 67% dos acidentes com vítimas fatais ocorreram em zonas rurais (5639), desses 23% (1296) das mortes foram causadas por excesso de velocidade ou ultrapassagem indevida.

Um estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada [IPEA \(2015\)](#) revelou que, a frota de veículos automotores, principalmente as motocicletas, está tendo uma expansão desde o final do século passado. De 2003 a 2016, a frota nacional aumentou 136,5%; a de automóveis, 102,6%; e a de motocicletas, 269,8%. O estudo destaca ainda que, o Nordeste brasileiro teve um acréscimo da frota de veículos de 414%, superior à média nacional, que se reflete na deterioração das condições de trânsito e, conseqüentemente, no aumento das vítimas do trânsito não só dos grandes centros urbanos como também das rodovias. Quanto maior o tráfego de veículos, maiores

os conflitos existentes, o que pressiona os índices de acidentes em todas as rodovias brasileiras ([IPEA, 2015](#)).

Ainda segundo o [IPEA \(2015\)](#) os dois principais tipos de acidente que geram mais óbitos são colisão frontal e atropelamento de pessoas. Traçando-se um perfil dessas ocorrências: 89,71% das colisões frontais ocorreram em pistas simples, ocasionando 93,91% dos mortos nesse tipo de acidente; e 71,73% dos atropelamentos de pessoas ocorreram em trechos urbanos, ocasionando 58,47% dos mortos. O período da noite concentrou 63,12% das mortes por esse tipo de acidente.

A reversão do quadro de acidentes de trânsito, no entanto, é viável já que é possível observar o progresso nas ações voltadas à redução da insegurança viária globalmente. Entre 2010 e 2016, dados da [OMS \(2018\)](#) mostram que o número de mortes no trânsito caiu em 88 países. Países como o Reino Unido, Suíça, Suécia, Holanda, Estados Unidos, Israel, Austrália, Nova Zelândia tem reconhecido a segurança viária como uma área em que os governos podem atuar para minimizar o trágico impacto criado pelos acidentes em termos de vida humana e lesões. Dentre outras ações adotadas, esses países têm investido em métodos de coleta e tratamento dos dados de acidentes de trânsito e fiscalização.

Na Suíça e Austrália, por exemplo, existe um plano para cruzar os dados do acidente com outras informações como dados hospitalares, permitindo assim maior nível de garantia de qualidade e compartilhamento de dados entre as agências envolvidas ([KHAN, AL KATHAIRI e GARIB, 2014](#)). A União Européia desenvolveu uma base de dados de acidentes integrado a nível europeu. Este programa resultou no Banco de Dados Internacional sobre Trânsito Rodoviário e Acidentes (IRTAD). O desenvolvimento de um banco de dados de acidentes rodoviários foi fortemente defendido por profissionais de segurança viária como uma ferramenta essencial para tomada de decisão para combater eficazmente o enorme problema de segurança rodoviária em toda a União Européia. ([IRTAD, 2018](#)).

Entretanto, no quesito segurança viária, o Brasil ainda se encontra muito defasado em relação aos países mais desenvolvidos. De acordo com um estudo realizado pela Universidade de Michigan nos EUA ([SIVAK, 2011](#)), que avaliou estatísticas de acidentes, programas de segurança no trânsito, obstáculos no seu desenvolvimento, existência de institutos de pesquisa desse tema e agências governamentais responsáveis pela segurança viária nos países do BRICS (Brasil, Rússia, Índia e China e a África do Sul), constatou-se que o Brasil não apresenta um

plano de segurança, havendo a necessidade de aprimorar estudos e o desenvolvimento de uma ação planejada e sistemática nesse sentido.

O Manual de Segurança Viária do PIARC elaborado pelo *Technical Committee on Road Safety* ([PIARC, 2003](#)) e financiada pelos governos Suíço, Grego, Francês e Canadense com o intuito de analisar os impactos da infraestrutura na segurança viária, cita que o diagnóstico e a gestão dos principais problemas relacionados a acidentes de trânsito devem ser continuados e baseados em dados reais, identificando corretamente problemas, fatores de risco e áreas prioritárias, de maneira que ações adequadas sejam tomadas e os recursos sejam alocados apropriadamente. A inexistência destas medidas torna impossível haver uma redução significativa e sustentável tanto do nível de exposição da população ao risco de acidentes quanto da gravidade dos mesmos.

Outro importante documento elaborado nos EUA que trata do assunto é o Manual de Segurança Rodoviária - Highway Safety Manual (HSM) ([AASHTO, 2015](#)). O HSM apresenta ferramentas e metodologias para a consideração da segurança em todas as etapas relacionadas à construção e operação de rodovias: planejamento, programação, desenvolvimento de projetos, construção, operação e manutenção.

[Kohlman Rabbani et al. \(2015\)](#) coletou dados referentes ao fluxo de veículos, tipo, causa e número de acidentes de trânsito ocorridos no ano de 2013 para um trecho de 60 quilômetros da BR 101 localizado entre a cidade do Cabo Santo Agostinho e Igarassu, no estado de Pernambuco para identificação dos locais críticos através da aplicação do método *Equivalent Property Damage Only* ou Índice de Dano Material Equivalente (EPDO). Foram ainda estudados os boletins de ocorrência referentes aos acidentes ocorridos nas 44 seções identificadas e observou-se que as causas mais especificadas nestes boletins foram o fator humano (maior índice de causa de acidentes na pesquisa) e as condições da pista. [Kohlman Rabbani et al. \(2015\)](#) corrobora com o estudo de [Chagas \(2011\)](#) a partir da compilação de fatores contribuintes observados em diversos estados do Brasil, dos Estados Unidos e no Reino Unido ([ANEXO B](#)).

Mesmo sabendo que o alto índice de acidentes na pesquisa foi causado pelo fator humano, após a localização dos pontos críticos e análise preliminar das características geométricas e físicas da via e do meio, foi verificada a ausência das condições adequadas para tráfego seguro. Dentre elas estão a falta de acostamento nas dimensões apropriadas (e, até mesmo ausência em partes das vias), dimensão restrita da via para o fluxo a qual é submetida, devido à presença de

obras, buracos e remendos em muitos trechos, criando desníveis e apresentando declives acentuados entre duas pistas, ausência de luminosidade apropriada em ambiente noturno e ausência de uma estrutura eficiente de drenagem, quando em condição de chuva.

A Pesquisa CNT Rodovias, feita pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) em sua 23ª edição em 2019 analisou mais de cem mil quilômetros de rodovias por todo o Brasil, quanto a situação dos pavimentos, da sinalização e da geometria da via, por trechos. A CNT classificou esses três itens em ótimo, bom, regular, ruim e péssimo, visando encontrar maneiras de melhorá-los e consequentemente, diminuir os acidentes nas rodovias. O resultado da pesquisa mostrou que entre todos os itens analisados, o maior percentual de péssimo foi atribuído a geometria (31,8%) e com apenas 17,1% para ótimo.

Esses resultados também apontam para o fato de que o relato do fator humano como causa principal pode estar ligado à maneira como os dados são coletados e tratados no País. Dados oriundos de fontes distintas que registram as vítimas no País em virtude do trânsito (DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito); DATASUS - banco de dados do Sistema Único de Saúde/MS; e Seguros DPVAT - Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre ou por sua Carga a Pessoas Transportadas ou Não), utilizam formulários em papel, formulários digitais e planilhas diversas, não havendo padronização adequada desses dados ou até mesmo a ausência deles, que podem mascarar a realidade.

O DENATRAN elabora seus anuários estatísticos a partir dos boletins de ocorrência lavrados pela polícia e contabiliza apenas as mortes in loco. O DATASUS contabiliza as mortes das pessoas atendidas em estabelecimentos de Saúde, enquanto que o DPVAT contabiliza as vítimas pela quantidade de seguros pagos por mortes no trânsito anualmente. Com as limitações e diversidades metodológicas para coleta de dados de acidentes, as instituições apresentam resultados com variações de até 300% no número de mortes por AT por ano ([CNM, 2018](#)). Por exemplo, de acordo com os registros do DENATRAN, o número de mortes por AT cresceu de 2002 a 2005 e caiu significativamente em 2006. Isso não aconteceu com as estatísticas do SUS e do DPVAT. Ambas apresentaram um aumento progressivo das mortes até 2007, um ano de pico em acidentes de trânsito no País, com queda a partir de 2008. Essa diminuição nos índices de acidentes de trânsito pode estar associada à implementação da Lei Seca no Brasil nesse mesmo ano. A redução é ainda mais representativa se comparado ao ano de 2012, quando a lei sofreu

sua primeira alteração, tornando-se mais rígida com o aumento da multa para condutores flagrados dirigindo alcoolizados.

Outra grande dificuldade relacionada à gestão da segurança rodoviária no Brasil é a falta de dados sobre projetos rodoviários, especialmente os de estradas rurais, o que dificulta o uso de estudos e modelos de segurança rodoviária de outros países como referência. Cerca de 70% das rodovias brasileiras foram construídas na década de 1960 e seus projetos são em papel ou digitalizados como arquivos PDF ([CNM, 2018](#)). Segundo Augusto Nardes, auditor do Tribunal de Contas da União (TCU), em entrevista ao jornal O Globo (2015), a falta de planejamento em infraestrutura de transportes é uma das maiores preocupações do TCU e relata que isso pode ser evidenciado na ausência de documentação necessária (projeto básico, planejamento, entre outros) na execução das obras de transportes.

Para muitos municípios do Brasil, os únicos mapas disponíveis mostrando seus territórios, que são utilizados para atualização da malha rodoviária, são os fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estes são frequentemente complexos e ultrapassados, fazendo com que a realidade local se afaste cada vez mais da projetada. Por outro lado, a atualização dos mapas não acompanhou o aumento do número de estradas decorrentes do crescimento socioeconômico do país nas últimas décadas, seja pela dificuldade de acessar alguns locais ou de encontrar pessoal técnico especializado ou o alto custo ([IBGE, 2019](#)).

As pessoas cometem erros e são fisicamente vulneráveis em acidentes, enquanto que o sistema viário, da maneira como ainda é estruturado, contribui para que esses erros gerem acidentes ([ITE, 2016](#)). Nesse sentido, um projeto rodoviário seguro permite compensar, em parte, os riscos oferecidos pelos outros fatores, contribuindo com a redução da frequência dos acidentes e minimizando a severidade daqueles que ocorrerem. Para tanto, é preciso garantir a padronização na coleta e tratamento dos dados de acidentes de trânsito que permita que estes estudos sejam realizados e gerem diagnósticos e indiquem alternativas de soluções para os problemas detectados. Essa padronização pode ser conseguida através de um banco de dados único que reúna as informações do acidente e do projeto da rodovia. Uma das principais dificuldades, dentro do contexto, está relacionada com a existência de poucos bancos de dados informatizados sobre acidentes ([BOFFO, 2011](#)). Além de poucos, há aqueles que apresentam falhas na coleta e consequentemente pouca confiabilidade nos dados.

De acordo com o [IPEA/ANTP \(2015\)](#) as características particulares do trânsito brasileiro (pedestres não atravessam na faixa, veículos motorizados só param em semáforos, ausência de ciclofaixas, radares só reduzem a velocidade dos veículos na via num intervalo de 100 metros antes e depois, carência de projetos, dentre outras) dificultam o uso de estudos e dados de outros países como fonte de referência. É preciso buscar dados que expressem a realidade brasileira e que permitam a realização de estudos com base nesses dados para dar suporte ao processo de tomada de decisão no gerenciamento da segurança viária.

O processo de tomada de decisão no gerenciamento da segurança viária depende de indicadores que possam expressar de forma objetiva o nível de segurança dos componentes de uma determinada rede de transportes ([AASHTO, 2015](#)). Nesse sentido, pesquisadores tem procurado relacionar séries históricas de acidentes de trânsito com atributos geométricos e operacionais da via com o uso de modelos estatísticos de regressão denominados Modelos de Previsão de Acidentes (MPA) ou funções de desempenho de segurança viária.

Os MPA ajudam a reconhecer os verdadeiros agentes causadores de um acidente. O efeito de uma causa pode ser maior que o outro. E essas causas só podem ser conhecidas através da modelagem desses acidentes. Essas causas incluem, além dos fatores humanos, os fatores relacionados a via, como, volume de tráfego, características geométricas das rodovias, sinalização da via, condições do pavimento, presenças de obstáculos, entre outros ([KIRAN, KUMARASWAMY e SASHIDHAR, 2017](#)).

Geometricamente, uma rodovia consiste essencialmente em dois tipos de segmentos: segmentos retos (tangentes) e segmentos curvos. Embora a maior parte dos acidentes em rodovias aconteça em trechos retos, é nas curvas onde ocorrem acidentes com maior severidade ([RADIMSKY, MATUSZKOVA e BUDIK, 2016](#)). As curvas, particularmente aquelas ao longo do plano horizontal, concentram 54% dos acidentes fatais nas rodovias rurais do Brasil (DPRF, 2016). Elas são mais perigosas para os motoristas por causa das forças centrípetas adicionais exercidas em um veículo e a maior atenção requerida do motorista ([FINDLEY et al., 2012](#)). Entre mortos e feridos, vítimas de acidentes no trânsito torna-se um custo a mais para a sociedade e um problema para o sistema de saúde pública do Brasil ([IPEA, 2015](#)). Uma pesquisa do IPEA, em parceria com o Denatran e a Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), estimou os custos individuais no caso dos acidentes rodoviários, em R\$ 1.040 por vítima sem ferimentos, R\$ 36,3 mil para os feridos e R\$ 270,1 mil por vítima fatal.

Diversos estudos demonstram a necessidade de atualizar as atuais diretrizes para o projeto de curvas horizontais, principalmente no que se refere a trechos com elevadas declividades. O manual para projeto geométrico de rodovias vigente nos Estados Unidos ([AASHTO, 2015](#)) possui recomendações quanto ao projeto de curvas em grandes declividades, ao contrário do que ocorre no manual vigente para as rodovias federais brasileiras ([DNER, 1999](#)), que não aborda o tema.

Estudos da relação entre características de curvas horizontais e taxa de acidentes tem sido relatado em vários países. A característica mais estudada é o raio de uma curva horizontal. As funções que descrevem a relação entre o raio das curvas horizontais e a taxa de acidentes tem sido desenvolvidas na Austrália, Canadá, Dinamarca, Alemanha, Grã-Bretanha, Nova Zelândia, Noruega, Portugal, Suécia e Estados Unidos ([KIRAN, KUMARASWAMY e SASHIDHAR, 2017](#)). Outras características das curvas horizontais que foram estudadas incluem ângulo de deflexão, comprimento da curva, presença de curvas de transição, superelevação nas curvas e distância das curvas adjacentes.

Devido à severidade dos acidentes em curvas várias contramedidas de curva horizontal tem sido um foco de muitos pesquisadores. Um número de estudos tem focado na relação entre as características da curva horizontal e o desempenho de segurança da curva, incluindo atributos de projeto ([STRATHMAN et al., 2001](#)), como sinalização e marcações ([LYLES e TAYLOR, 2006](#); [CHARLTON, 2007](#) e estratégias para melhorar a segurança de curvas ([MCGEE e HANSCOM, 2006](#); [ELVIK, 2013](#)).

Embora os MPA já sejam explorados há mais de duas décadas em países como Canadá, Estados Unidos, Inglaterra e Suécia, no Brasil seu estágio de desenvolvimento ainda é incipiente. Os primeiros esforços de modelagem para o ambiente brasileiro podem ser atribuídos à pesquisa de doutoramento de [Cardoso \(2006\)](#) e sintetizados no trabalho posterior de [Cardoso e Goldner \(2007\)](#), nos quais foram analisados segmentos arteriais urbanos de Porto Alegre. Acredita-se que essa incipiência possa ser atribuída em parte a problemas relacionados com a disponibilidade e qualidade das informações sobre acidentes de trânsito associados à relativa escassez de procedimentos para a calibração e validação de modelos dessa natureza no âmbito nacional.

Pelo grande número de variáveis envolvidas nos modelos de predição, países em desenvolvimento nem sempre podem realizar pesquisas nacionais sobre cada tópico, mas podem adaptar estudos feitos em outros países. Torna-se então importante avaliar se o conhecimento

pode ser transferido internacionalmente. A calibração de MPA é menos exigente quanto à disponibilidade de dados tornando-se uma alternativa viável quando estes não estiverem disponíveis em quantidade ou qualidade desejada.

No entanto, várias preocupações surgem quando procura-se calibrar os MPA de um para outro lugar. A principal inconsistência está relacionada ao tipo de dados de acidentes, uma vez que as definições de acidente rodoviário diferem de um contexto para outro ([RADIMSKY, MATUSZKOVA e BUDIK, 2016](#)). Por exemplo, de acordo com a definição americana, um acidente rodoviário é aquele que resulta em ferimento ou dano à propriedade devido à colisão de pelo menos um veículo motorizado e pode envolver colisão com outro veículo, um ciclista, um pedestre ou um objeto. De acordo com a definição da UE, um acidente rodoviário refere-se a qualquer acidente envolvendo pelo menos um veículo rodoviário, ocorrendo em uma estrada aberta à circulação pública e no qual pelo menos uma pessoa é ferida ou morta. Portanto, o conjunto de dados a serem contabilizados no modelo pode ser restrito dependendo do modelo aplicado. Outras diferenças que afetam o resultado podem ser o projeto da estrada (por exemplo, seção transversal, tipo de instalação), classificação funcional das redes viárias e uso da terra (área urbana ou rural) ([BONERA e MATERNINI, 2020](#)).

Várias tentativas foram feitas em nível internacional para transferibilidade de modelos, principalmente para rodovias rurais onde o método parece ser mais adaptável, devido às semelhanças entre os ambientes ([DRAGOMANOVITS et al., 2016](#); [LA TORRE et al., 2019](#)). [Toffaletti e Maternini \(2017\)](#) acreditavam que o método disponibilizado pelo HSM pudesse ser transferido para as rodovias rurais europeias, no entanto seus resultados mostraram que o método tinha uma ligeira adaptabilidade para estradas urbanas. Isso pode ser justificado pelo fato do método estar baseado na frequência de acidentes. De acordo com as últimas estatísticas italianas ([IRTAD, 2018](#)), por exemplo, mais de 75% dos acidentes de rodoviários ocorrem em áreas urbanas, portanto, a possibilidade de aplicar o método preditivo nesse contexto e ter resultados efetivos em termos de salvar vidas. Diferentemente da realidade brasileira, onde não existe uma forte discrepância na frequência de acidentes entre zonas urbanas e rurais, inclusive segundo o Ministério dos Transportes (2017) o percentual de acidentes de trânsito é maior em áreas rurais (53%).

No Brasil também foram realizados alguns estudos avaliando a transferibilidade do modelo do HSM ([CUNTO et al., 2012](#); [CUNTO et al., 2014](#); [CLAUDE, 2012](#); [COSTA e](#)

[BARBOSA, 2011](#)). Em uma aplicação do método preditivo do HSM em trechos homogêneos de pista simples no estado de São Paulo, [Silva \(2011\)](#) encontrou um Fator de Calibração de 3,73 para as rodovias analisadas. O estudo incluiu 3 diferentes rodovias e extensão de pouco mais de 80km, divididos em 79 trechos homogêneos. A autora destaca que o método sem calibração não reflete a realidade brasileira das rodovias estudadas, uma vez que o histórico de acidentes se mostrou quase 4 vezes superior ao esperado pelo modelo sem a calibração.

Outra crítica à transferibilidade de MPA é que as estimativas dos coeficientes muitas vezes são altamente variáveis ([ELVIK, 2013](#)). Isso pode ser devido à variação no ambiente de tráfego, ou na omissão de variáveis importantes associadas aos acidentes, mas correlacionada com variáveis no modelo. Isso significa que um pode encontrar estimativas de parâmetros não confiáveis ou diminuídas, incluindo efeitos estatisticamente significativos de fatores que não estão associados ao resultado dos acidentes medidos, ou efeitos não significativos para fatores que são associados aos acidentes ([WU e PRASAD, 2017](#)).

Pesquisas recentes mostram que ignorar o fator de correlação das variáveis tem sido a principal causa de vieses na estimativa de parâmetros para os MPA ([ABDULHAFEDH, 2017](#)). Uma possível solução para este problema seria incorporar variáveis espaciais nesses modelos. Isso representa uma excelente oportunidade para explorar as considerações espaciais como uma estratégia de análise consistente e amplamente aceita para características individuais da curva.

Entre as barreiras encontradas neste processo de desenvolvimento dos MPA, tem-se as malhas viárias que são projetadas quase sempre apenas considerando a possibilidade de um menor traçado, melhor fluxo e menores custos, não levando em consideração a dinâmica dos acidentes e sua relação com as características geométricas das vias ([ABDULHAFEDH, 2017](#)). Elas poderiam ser melhor planejadas com o uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, a partir de Sistemas de Informações Geográficas ou *Geographic Information System* (SIG) e interpretação de imagens de satélite. Estas técnicas além de serem mais precisas que as convencionais, disponibilizam os dados em formato digital.

Para [Salbego et al. \(2006\)](#) a disponibilização de informações em formato digital possibilita uma redução nos custos dos processos de atualização e substituição, tendo em vista que os produtos gerados a partir de SIG podem ser atualizados, editados, impressos e duplicados mais rápido e facilmente do que aqueles gerados por métodos tradicionais. A extração automática ou semi-automática de estradas a partir de imagens de satélites pode ser a maneira mais

conveniente de superar o problema da falta de documentação do projeto para segurança rodoviária no Brasil ([MACEDO et al., 2020](#)).

Outra limitação no desenvolvimento dos MPA está na segmentação dos trechos com características geométricas similares (trechos homogêneos). Essa divisão homogênea é necessária para estabelecer as relações espaciais entre o acidente e o local onde o mesmo ocorreu. No Brasil, a caracterização entre tangente e curva, por exemplo, é feita com base na inspeção visual, o que pode incorrer em erros na identificação de trechos retos e curvos. Nesse caso, a atribuição de um acidente à um determinado trecho da rodovia pode ser incorreto. Para que isso não ocorra é necessário identificar parâmetros que possam caracterizar a via corretamente.

Os modelos existentes para rodovias rurais usados em países como Alemanha, Austrália, Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, Inglaterra, Nova Zelândia, Noruega, Suíça e Portugal não consideram em sua modelagem o impacto das relações espaciais na segurança da curva horizontal. A ausência de um fator que caracteriza o local, não significa que esse fator não tenha efeito na frequência de acidentes, indicando apenas que o efeito poderá não ser totalmente conhecido ou, simplesmente, não tenha sido quantificado até ao momento ([KIRAN, 2017](#)). Uma possível solução para este problema seria incorporar variáveis espaciais nesses modelos. Isso representa uma excelente oportunidade para explorar as considerações espaciais como uma estratégia de análise consistente e amplamente aceita para características individuais da curva.

Com a utilização de *softwares* que simulam espaços em três dimensões é possível uma interpretação mais ágil e precisa de uma grande quantidade de informações. Isso possibilita uma melhor compreensão das relações espaciais existentes entre os elementos analisados e facilita a visualização de situações complexas, cuja representação só seria possível através de um grande volume de mapas e documentos. Porém, a associação do tempo como uma quarta coordenada para realização de predição de acidentes para implantação de novas redes, são hoje o maior desafio. Atualmente a utilização de SIG agregando a visualização de análises em mapas, localizando as informações geográficas, pode trazer um interessante diferencial às organizações em suas decisões estratégicas. Porém, esta integração entre diversas fontes de dados encontra diversas barreiras ao longo do processo, caracterizando-se como um desafio de pesquisa e desenvolvimento.

A metodologia proposta nesta pesquisa busca viabilizar a coleta, extração de informações e a visualização de dados multidimensionais em conjunto com informações geográficas de

maneira transparente ao usuário, utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta de suporte à decisão. Através do desenvolvimento de um banco de dados de acidentes foi verificada a consistência nos termos de como a informação é armazenada e os dados são padronizados e, dessa maneira, poderá ser compartilhada, minimizando o tempo e o custo das operações.

Para isso, é necessário ter-se em mente a complexidade naturalmente imposta pelo ambiente, já que se trata de duas fontes de dados distintas (características da via e dados dos acidentes), tanto no que diz respeito ao conteúdo quanto ao tipo de dados que armazenam. Isso permitirá que o sistema seja alimentado por dados disponíveis em planilhas (de acidentes) com vários formatos de coleta e projetos no formato vetorial, que serão responsáveis pela alimentação dos dados relativos às características geométricas da malha viária (diretriz, largura da faixa, acostamento, curvas horizontais e verticais, superelevação, superlargura, dentre outros).

O caráter inovador desta tese está na de elaboração de uma proposta metodológica para utilizar os recursos de um sistema de informações geográficas combinando dados espaciais e descritivos para identificar os impactos que os parâmetros geométricos causam na frequência e na severidade dos acidentes e modelar o impacto das relações espaciais na segurança da curva horizontal em rodovias rurais pista simples. A modelagem dos impactos das relações espaciais na segurança da curva horizontal, usando SIG, nunca foi feita antes no Brasil.

Este estudo concilia o objetivo de desenvolver uma base de dados capaz de associar os registros de acidentes aos parâmetros geométricos da rodovia, obtida pelo processo de reconstituição geométrica quando houver dados vetoriais disponíveis ou de extração semi-automática de rodovias através de imagens de satélites quando não houver. Ferramentas de modelagem e análise espacial serão utilizadas para extrair os elementos espaciais, como largura da faixa, largura do acostamento, superelevação, raio das curvas, dentre outros, a partir de modelos digitais de terreno, imagens de satélites e do projeto geométrico, complementando as informações não disponíveis no banco de dados de acidentes tradicionais. Os segmentos homogêneos serão analisados e classificados através do método analítico (HSM) e do método Espacial (densidade de Kernel-KDE). Pretende-se com isso construir um modelo de predição de acidentes utilizando SIG para rodovias rurais pista simples, com o mínimo de variáveis estatisticamente significativas, adequadas à realidade brasileira e melhorar a predição de acidentes para locais com características similares.

1.1 HIPÓTESE DA PESQUISA

A hipótese desta tese é mostrar que é possível desenvolver uma metodologia para avaliar e analisar impacto que a geometria da via (curva horizontal) impõe no aumento no número e na severidade de acidentes em rodovias rurais pista simples e esta pode ser modelada através da combinação de modelos estatísticos tradicionais e análises espaciais para predição de acidentes utilizando SIG.

Algumas questões são importantes para avançar no entendimento do efeito das características geométricas da curva horizontal nas rodovias rurais pista simples sobre a segurança do tráfego e, portanto, para a concepção e desenvolvimento do procedimento. Essas questões deverão ser respondidas com o desenvolvimento da pesquisa e são as seguintes:

- a) Como desenvolver uma base de dados para associar os registros de acidentes aos parâmetros geométricos da rodovia e preencher as lacunas deixadas pela ausência de projetos geométricos através da reconstituição geométrica ou extração semiautomática de rodovias através de imagens de satélites?
- b) Quais são as características geométricas (variáveis) das rodovias rurais pista simples brasileiras que afetam a segurança do tráfego?
- c) É possível realizar uma hierarquização e estabelecer quais são as características geométricas que tem maior influência na ocorrência e severidade dos acidentes de trânsito nas rodovias rurais pista simples brasileiras?
- d) Como realizar segmentação dos trechos com características geométricas similares (trechos homogêneos) considerando o impacto das relações espaciais na segurança da curva horizontal?

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção, são apresentados os objetivos mais específicos da pesquisa.

1.2.1 Geral

Desenvolver uma metodologia para predição de acidentes em rodovias rurais pista simples focando no efeito das curvas horizontais através do uso do SIG para apoiar a tomada de decisão sobre a aplicação dos recursos destinados ao melhoramento das condições de segurança da via. Com isto, esta pesquisa visa aprofundar o entendimento da influência das características geométricas da via (curva horizontal) sobre a segurança do tráfego.

1.2.2 Específicos

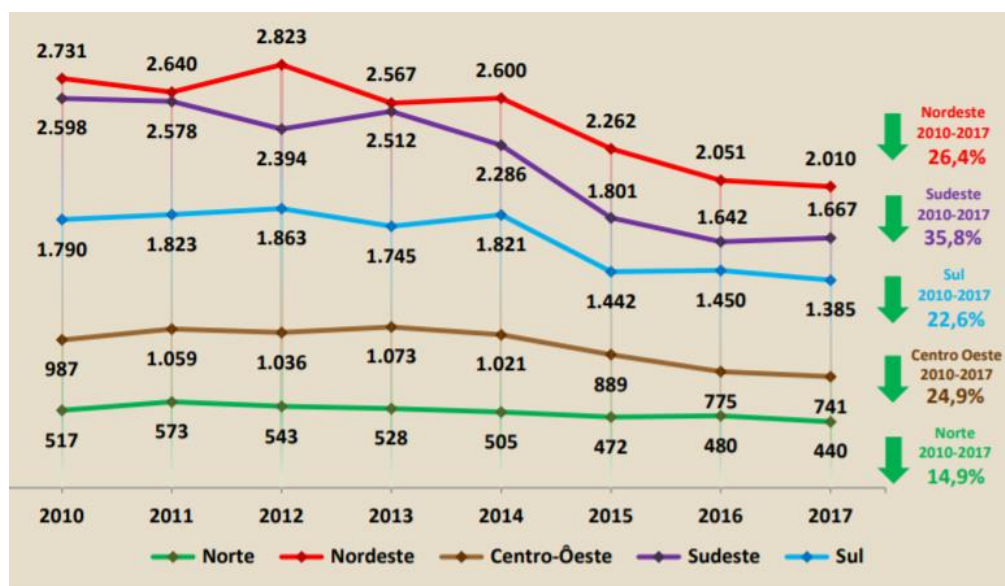
- a) Propor uma forma de consolidar uma base de dados de trechos rodoviários em diferentes regiões do Brasil, contendo: histórico de acidentes, volumes de tráfego, informações meteorológicas e características geométricas e operacionais;
- b) Extrair os elementos espaciais (largura da faixa, largura do acostamento, superelevação, raio das curvas, dentre outros), a partir de modelos digitais de terreno, imagens de satélites e do projeto geométrico;
- c) Investigar e modelar o impacto das relações espaciais na segurança da curva horizontal em rodovias rurais pista simples;
- d) Desenvolver um modelo de predição de acidentes para estimar a frequência de acidentes em trechos homogêneos de rodovias rurais brasileiras sob duas condições distintas: com divisão espacial de trechos homogêneos (proposto) e com divisão linear de trechos homogêneos (utilizado pelo HSM).

1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com o Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária (2018), dos acidentes de trânsito em rodovias federais, 52% ocorreram em rodovias rurais pista simples. Entre os anos

2010 a 2017, houve uma redução média de 25% do número de óbitos no País ([Figura 1](#)). Apesar da redução, a região Nordeste ainda concentra o maior número de óbitos em rodovias federais. Do total de 6243 óbitos registrados nas rodovias federais em 2017, 33% (2060) ocorreram na região Nordeste, contra 8% (499) na região Norte, 12% (749) na região Centro Oeste, 23% (1435) na região Sul e 24% (1498) na região Sudeste.

Figura 1 – Número de Óbitos por Região em Rodovias Federais no Brasil



Fonte: PRF (2018).

De acordo com os dados de acidentes da PRF entre os anos de 2010 e 2017, quando se compara o número de óbitos por tipo de uso do solo em rodovias federais, a área urbana registra uma queda de 42,8% contra 20% na área rural ([Figura 2](#)). Outra consideração importante é que o número de óbitos em áreas rurais mostrou-se em queda até o ano de 2016 e voltou a crescer, registrando um aumento de 3% em relação ao ano de 2016. Em 2019 esse aumento já chega a 13,8% em relação ao mesmo ano (PRF, 2019). De acordo com o Ministério dos Transportes, em 2017 o custo total com acidentes fatais chegou a 4,7 bilhões de reais dos quais cerca de 3,0 bilhões são nas áreas rurais.

As estatísticas estão associadas ao crescimento populacional, muitas vezes desordenado e constituem hoje um desafio para expansão da malha viária não apenas para a escolha do melhor local para a implantação, mas, para satisfazer aos requisitos exigidos pela coletividade como:

garantir a mobilidade urbana, minimizar os riscos de acidentes e impactos ambientais, respeitar as restrições orçamentárias, estimular o desenvolvimento econômico, entre outros. Com recursos cada vez mais escassos existe a necessidade de decisões refinadas.

Figura 2 – Número de Óbitos por Tipo de Uso do Solo em Rodovias Federais no Brasil



Fonte: PRF (2018).

Entretanto, somente em dezembro de 2006 foi realizado no Brasil o primeiro seminário sobre segurança nas rodovias, evento organizado para coletar subsídios para a criação de uma Política Nacional de Segurança de Trânsito. Tal política deveria estar sendo executada desde 1998, quando o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) entrou em vigor, depois de tramitar por quase cinco anos no Congresso.

Diante da possibilidade dos acidentes de trânsito causarem a perda de até 2,4 milhões de vidas por ano até 2020, governos de todo o mundo se comprometeram a tomar medidas para prevenir os acidentes de trânsito através do Plano de Ação Global para a década (2011 a 2020) (WHO, 2011). Tais objetivos foram incorporados às diretrizes de Desenvolvimento Sustentável através da Agenda 2030 pela United Nations (2011), de forma que o desenvolvimento deve ser pautado nos pilares de segurança: gestão de segurança viária, rodovias e mobilidade seguras, veículos seguros, usuários seguros e resposta à acidentes.

De acordo com [Couto et al. \(2016\)](#) e [Simpson et al. \(2014\)](#), o planejamento de intervenções públicas e privadas no setor de transportes insere-se na adoção de metas socioeconômicas e ecológicas, rumo ao desenvolvimento sustentável. Logo, a expansão da rede de transportes principalmente nas áreas urbanas precisa acompanhar o crescimento populacional

e garantir um nível de operação do sistema a longo prazo, bem como um crescimento programado e organizado que garantam a segurança dos diversos usuários das vias.

Entretanto, com a queda dos investimentos nas últimas décadas, a malha rodoviária brasileira deixou a desejar no quesito segurança. Segundo dados da Confederação Nacional e Transporte, 2016, 62 % das estradas estão em condições regulares, ruins ou péssimas. Os projetos de sinalização não foram feitos adequadamente e não sofrem manutenção regular, 50% das rodovias federais não apresentam placas de aviso diante de curvas perigosas. Grande parte das rodovias possui sinalização em péssimo estado: placas caídas devido aos ventos ou acidentes, placas pichadas ou cobertas por vegetação, impossibilitando a sua visualização pelo motorista. As rodovias em condições ruins aumentam os riscos dos acidentes, custo do transporte e manutenção dos veículos. Os condutores no Brasil gastam 26% a mais devido as condições das estradas, demonstram dados da [CNT \(2016\)](#).

O descuido dos motoristas também contribui para parte dos acidentes. Segundo [Pereira \(2017\)](#), principalmente nas áreas rurais, vários usuários transitam pelas estradas com veículos malconservados (luzes queimadas, pneus e freios desgastados), além de não respeitarem os limites de velocidade preconizados, por insuficiência na fiscalização. De acordo com o [DNIT \(2015\)](#), as rodovias brasileiras possuem limites de velocidade que variam entre 80 e 100 km/h em rodovias de pista simples.

Vários fatores, como aumento no número de veículos, falhas no desenho geométrico, atitude do motorista, idade do motorista, tipo de veículo, dentre outros, são responsáveis pelo aumento no número e na severidade de acidentes de trânsito. Portanto, para atenuar os danos causados por acidentes, é importante prever o número de acidentes antes de sua ocorrência, auxiliando na priorização de medidas de controle a serem adotadas. Sendo assim, a análise detalhada dos acidentes ocorridos nas vias continua sendo um dos principais indicadores de deficiências na rede ([OLIVEIRA, 2016](#)). Ao se realizar a identificação, mapeamento e diagnóstico dos pontos de maior incidência de acidentes, são fornecidos subsídios para a tratativa locais onde ocorrem mais acidentes ou acidentes de maior gravidade para atuar de forma preditiva para a redução desses eventos.

O processo de planejamento de transporte em nível estratégico vem sendo estudado para a modelagem de cenários e avaliação de alternativas levando em consideração medidas de desempenho relacionadas a fluidez do sistema e a capacidade da via. No entanto, o Desempenho

da Segurança Viária (DSV) não está incorporado de forma objetiva e sistemática nesse processo de planejamento ([ITE, 2009](#)). Esse problema persiste até hoje pela falta de investimento em treinamento de pessoal e a terceirização de muitas dos trabalhos realizados que precarizam ainda mais o processo.

Ainda hoje o processo de análise e prospecção de expansão da malha viária é realizado por meio da consulta ao diagrama da rede sobre os mapas impressos. Posteriormente, são utilizados programas de computador que simulam o fluxo da malha, definindo a viabilidade ou não do empreendimento. Caso o traçado proposto não seja adequado, é realizada nova consulta aos mapas da rede, mapas da área escolhida e visitas ao local para tentar propor uma nova rota. As imagens de satélites de alta resolução também têm sido utilizadas em projetos de rodovias e a extração automática ou semi-automática de estradas pode ser a maneira mais conveniente de superar o problema da falta de documentação do projeto para segurança rodoviária. Encontrar uma maneira eficiente de extrair redes rodoviárias automática ou semi-automaticamente é um tópico importante que foi discutido em muitos estudos, nos quais diferentes métodos e algoritmos foram utilizados ([LONG e ZHAO, 2015](#); [HORMESE e SARAVANAN, 2016](#); [LI, e BRIGGS, 2009](#); [XIA et al., 2018](#); [KAHRAMAN, KARAS e AKAY, 2018](#)). A maioria dos estudos concorda que extrair estradas de imagens aéreas é uma tarefa complicada devido a oclusão, sombras e árvores, bem como os diferentes tipos de estradas (pavimentadas, não pavimentadas) que aparecem nas imagens aéreas, e essas condições dificultam a extração precisa das mesmas ([WANG, 2016](#); [SAITO, YAMASHITA E AOKI, 2016](#)).

Embora existam muitos estudos e métodos para extrair estradas com base em imagens de satélites como por exemplo, [Sujatha e Selvathi \(2015\)](#), [Shi et al. \(2014\)](#), [Li et al. \(2017\)](#), [Kamangir, Momeni e Satari \(2017\)](#), [Abdollahi, Bakhtiari e Nejad \(2017\)](#) e [Abdollahi, Biswajeet e Nagesh \(2019\)](#), a maioria foi projetada para estradas urbanas, não sendo aplicadas em estradas rurais pista simples ([JIAN et al., 2017](#)).

Em seu estudo, [Jian et al. \(2017\)](#) destacam três problemas relacionados às estradas rurais pista simples. Primeiro, a variabilidade dos materiais utilizados no pavimento (asfalto, cimento, cascalho, pedra, dentre outros) que possuem diferentes assinaturas espectrais e pode ser um problema quando os métodos são aplicados. Segundo, as estradas rurais pista simples são geralmente estreitas e alguns segmentos de estradas podem ser completamente encobertos pelas sombras das nuvens, edificações ou outros elementos da rede. Terceiro, as estradas rurais pista

simples tem mais curvas do que as estradas urbanas. É difícil para os métodos existentes extrair estradas completas. Outro problema com estradas rurais, como no Nordeste do Brasil, segundo [Macedo et al. \(2020\)](#), é a vegetação predominantemente caatinga. Em períodos de seca, essas plantas podem ser facilmente confundidas com solo exposto e estradas não pavimentadas.

Uma metodologia que mais se aproxima do real deve coletar informações atuais da área de estudo e ser capaz de realizar uma análise sob a ótica da perspectiva para futuras instalações, manutenção das existentes e da prevenção de acidentes. Para isso, três principais fatores são relevantes na análise da segurança viária das rodovias federais: fator infraestrutura e ambiente (condições físicas das vias: geometria, conservação, sinalização e número de pistas; e condições meteorológicas e de horário); fator humano (condições dos condutores: aspectos físicos, emocionais e atendimento às normas de trânsito); e o fator veículo (condições de manutenção e existência de equipamentos de segurança).

Nesse cenário, os modelos de previsão de acidentes surgem como ferramentas capazes de modelar os fatores relevantes nos acidentes de trânsito. São modelos estatísticos que relacionam a frequência dos acidentes de trânsito com atributos geométricos e operacionais da via. Esses modelos carecem de grande quantidade de dados ([OECD, 2016](#)).

No Brasil o estudo de modelagem de acidentes é ainda incipiente ([ANDRIOLA, 2018](#)). São poucos os estudos de modelos matemáticos que busquem representar de forma adequada o potencial da acidentalidade em segmentos viários brasileiros. Esta ausência pode ser explicada pela dificuldade inerente ao processo de desenvolvimento de modelos específicos de previsão de acidentes. A concepção destes modelos dispense um grande esforço e requer um banco de dados bastante extenso e confiável, com informações das características geométricas e operacionais das vias ao longo dos anos, dados do volume de tráfego e um cadastro completo do histórico de acidentes, o que muitas vezes não está disponível.

Dessa forma, a transferência de modelos preditivos para regiões diferentes daquela onde o método foi desenvolvido pode ser uma alternativa menos onerosa e mais viável do que o desenvolvimento de modelos específicos para cada local ([COUTO et al., 2016](#)). No entanto, no caso específico do Brasil, os estudos realizados por [Silva \(2011\)](#) e [Cunto et al. \(2015\)](#) indicam que a transferibilidade de modelos em elementos viários brasileiros aponta a importância de investigações adicionais. Não foram identificados estudos da transferência de modelos de outros países em rodovias rurais de pista simples brasileiras.

Outro problema é que uma estrada consiste essencialmente em dois tipos de segmentos: segmentos retos e segmentos curvos e a análise de segurança tradicionalmente é feita considerando cada curva como um recurso de rodovia isolado, sem considerar outros recursos próximos de estradas e rodovias. A maioria das análises estatísticas assume que as variáveis são independentes uma das outras. Isso viola o fato de que, ao considerar variáveis espaciais, como o local onde ocorreu o acidente, deve-se levar em consideração a correlação espacial. A correlação espacial é a medida de correlação de uma observação com outra através do espaço. Pesquisas recentes mostram que ignorar esse fator tem sido a principal causa de vieses na estimativa de parâmetros para os MPA ([ABDULHAFEDH, 2017](#)).

Assim sendo, justica-se esta pesquisa, pelo desenvolvimento de uma ferramenta auxiliar ao processo de tomada de decisão nas estradas rurais de duas faixas, que permite investigar os efeitos da geometria na ocorrência de acidentes de trânsito. A contribuição desta tese é dupla. Primeiro, para abordar a estrutura hierárquica dos dados de acidentes, propõe uma nova abordagem para segmentação homogênea. E em segundo, a configuração do modelo de predição de acidentes para capturar o impacto das características geométricas das estradas sem condicionar o modelo a um tipo de acidente específico, reduzindo o número de variáveis envolvidas na modelagem para adequar a realidade brasileira. Para estimar o modelo proposto, foram utilizados dados de acidentes registrados nos segmentos rurais de rodovias de duas faixas em Pernambuco de 2006 a 2016. O modelo de predição desenvolvido pode ser utilizado para avaliar os efeitos de segurança dos elementos geométricos da estrada e melhoria dos projetos geométricos, possibilitando, desta forma, a escolha de intervenções no sistema viário para que mitiguem os riscos potenciais previstos.

1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A diversidade metodológica para coleta de dados de acidentes de trânsito, que apresentam resultados com variações de até 300% no número de mortes por acidentes de trânsito.

No Brasil, o registro dos acidentes é feito com base nos marcos quilométricos de referência ao longo das rodovias, e possui precisão no décimo de quilômetro (100 metros) o que pode ocasionar uma imprecisão na localização do acidente.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está estruturada em sete capítulos principais. O primeiro capítulo apresenta o problema da pesquisa e os objetivos, justificado do ponto de vista acadêmico e prático. Também aborda a estrutura e as limitações da pesquisa.

Os capítulos dois, três e quatro apresentam o referencial teórico. O capítulo dois identifica a origem das informações e conceitos abordados na pesquisa. Os tópicos discutidos no capítulo dois envolvem como devem ser os dados de acidentes de trânsito, os fatores contribuintes e seu papel na gestão da segurança viária. Descreve as características de sistemas de coleta de dados no Brasil e outros países do mundo. O capítulo três explica os métodos de previsão de acidentes desde os modelos iniciais até os modelos empregados atualmente e as variáveis envolvidas na modelagem. Finalizando o referencial teórico, o capítulo quatro aborda as geotecnologias aplicadas à segurança viária. Esse capítulo aborda o tratamento espacial de dados de acidentes de trânsito, a modelagem dos dados, a coleta e a qualidade dos dados e o georreferenciamento dos dados de acidentes de trânsito. Ainda no capítulo quatro, tem-se um panorama das aplicações de SIG em segurança viária no Brasil e no mundo.

O capítulo cinco descreve os procedimentos metodológicos realizados para o desenvolvimento dos instrumentos para coleta de dados, consolidação da base de dados de acidentes e base de dados das características geométricas. São descritos as etapas para desenvolvimento e os princípios que norteiam o tratamento e a análise dos dados, os procedimentos utilizados para seleção das variáveis, segmentação dos trechos homogêneos e identificação dos segmentos críticos. Ainda nesse capítulo é definido o modelo proposto.

O capítulo seis descreve um estudo de caso, seus resultados e análises. A metodologia será aplicada a um trecho da BR 232, no estado de Pernambuco, compreendido entre os municípios de São Caetano (km 141) e Custódia (km 356). A segmentação homogênea, os testes estatísticos para seleção das variáveis e os testes estatísticos para calibração do modelo proposto serão discutidas nesse capítulo.

O capítulo sete traz uma síntese dos principais resultados e conclusões, bem como sugestões para estudos futuros.

2 SEGURANÇA VIÁRIA E ACIDENTES DE TRÂNSITO

O acidente de trânsito pode ser conceituado como “ocorrência fortuita ou não, em decorrência do envolvimento em proporções variáveis do homem, do veículo, da via e demais elementos circunstanciais, da qual tenha resultado ferimento, dano, estrago, avaria, ruína, etc.” ([DNIT, 2010](#)).

Para [França \(2003\)](#) o acidente de trânsito é um evento independente do desejo do homem, causado por uma força externa, alheia, que atua inesperadamente e deixa ferimentos no corpo e na mente, envolvendo um ou mais veículos que circulam normalmente na via, podendo ser motorizado ou não.

Muitos estudos relacionam os acidentes aos erros cometidos pelos usuários da via ([LIMA e FRANCO, 2015](#); [OLIVEIRA, 2016](#)). Isso pode ser explicado pela Teoria da Causalidade, muito utilizada na década de 1950, cuja abordagem admitia que algumas pessoas eram mais propensas a acidentes. Essa ênfase sobre erros humanos levou a uma tentativa de modificar o comportamento humano como a principal medida preventiva de acidentes.

Segundo a [AUSTROADS \(2002\)](#), Associação das Autoridades de Transportes Rodoviário e de Tráfego da Austrália e Nova Zelândia (2002), a interação entre o usuário e a via é complexa e a determinação de um fator principal que contribui para um acidente é, a princípio, difícil. No entanto, pesquisas indicam que o maior responsável pelos acidentes é o fator humano, seguido pelo fator viário-ambiental e, por último, pelo fator veicular ([WRA, 2007](#)).

[Castrillón e Candia \(2003\)](#) analisaram e corroboram a visão anterior de que existem três elementos que contribuem, individual ou conjuntamente, à ocorrência de cada acidente de trânsito: o fator humano, o fator veicular e o fator viário ambiental.

[Elvik \(2007\)](#) identificou um grande número de fatores de risco que estão estatisticamente associadas à ocorrência do acidente em rodovias, ou seja, fatores cuja presença aumenta a probabilidade de acidentes. A princípio, podem-se destacar fatores como a geometria da rodovia e controle de tráfego somado aos fatores humanos para tentar explicar a causa dos acidentes. De acordo com [Ferraz, Raia Jr e Bezerra \(2012\)](#) o conceito de “causa de acidentes” pode ser substituído por “fatores contribuintes de acidentes”, pois os acidentes são resultado de vários fatores encadeados. Acredita-se que não é possível detectar causas para sua ocorrência e, sim, fatores que, juntos, contribuem para a ocorrência do acidente.

De acordo com [Luoma e Sivak \(2007\)](#), para obter êxito quanto à segurança viária é preciso determinar a situação atual e identificar os fatores associados aos acidentes de trânsito. Nesse sentido é necessário que se faça uma base de dados de acidentes abrangente e confiável para a compreensão das causas dos acidentes, dos padrões de acidente, da identificação dos riscos e para o desenvolvimento e escolha de medidas preventivas.

[Ferraz, Raia Jr e Bezerra \(2012\)](#) afirmam que a acidentalidade no trânsito é um problema grave no mundo e é fortemente influenciada pelo nível de desenvolvimento econômico e social: por exemplo, nos países subdesenvolvidos, as taxas de mortes por veículo e por quilometro são, em geral, significativamente maiores que nos países desenvolvidos.

No que se refere ao desenvolvimento social, a maior segurança no trânsito dos países desenvolvidos deve-se principalmente à existência de uma cultura consolidada de segurança viária, legislação e punição mais severa, maior conhecimento e respeito às leis e regras de trânsito por parte da população, condutores e pedestres com melhor treinamento, amplo acesso das pessoas às informações sobre as estatísticas de acidentes, dentre outros ([OLIVEIRA, 2016](#)).

2.1 FATORES CONTRIBUINTES PARA OS ACIDENTES DE TRÂNSITO

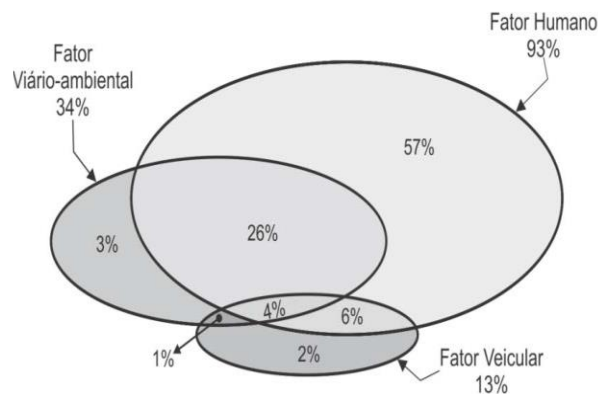
Os fatores contribuintes de um acidente viário são as principais ações, falhas ou/e condições que levaram diretamente ao acidente. Eles mostram quais circunstâncias dão origem ao acidente e dão pistas de como este acidente poderia ter sido evitado. O registro tradicional de acidentes geralmente guarda detalhes objetivos enquanto que os fatores contribuintes são largamente subjetivos e dependem da habilidade e experiência de um investigador encarregado de reconstruir os eventos que levaram ao acidente ([DEPARTMENT FOR TRANSPORT - DFT, 2004](#)).

Os acidentes de trânsito apresentam, normalmente, mais de um fator contribuinte para sua ocorrência. No entanto, no Brasil, os relatórios policiais sobre os acidentes registram em sua maioria, apenas um fator contribuinte para cada acidente, e este em geral está relacionado ao fator humano. Velocidades acima da velocidade permitida para a via destacam-se como fator contribuinte principal em muitos acidentes, no entanto outros fatores como características geométricas desfavoráveis, passíveis de correção, podem ser o foco de intervenção e a correção destas características da via resultaria em redução de acidentes mesmo sem a redução na

velocidade por parte dos usuários ([LIMA et al., 2008](#)). A eliminação de qualquer um dos fatores contribuintes pode reduzir a probabilidade de ocorrer o acidente considerando-se que os acidentes possuem mais de um fator contribuinte ([FRANÇA, 2003](#)).

A [Figura 03](#) abaixo mostra os fatores contribuintes de acidentes sobre o ponto de vista sistêmico do processo acidental ([WORLD ROAD ASSOCIATION, 2007](#)).

Figura 3 – Fatores que contribuem para acidentes de trânsito e sua inter-relação



Fonte: WRA (2007).

[Chagas \(2011\)](#) faz uma compilação de fatores contribuintes ([ANEXO B](#)) observados em seus estudos; fatores estes, presentes em diversos estados do Brasil, dos Estados Unidos e no Reino Unido e corrobora com o estudo do [WRA \(2007\)](#).

2.2 SISTEMA DE COLETA DE DADOS NO BRASIL

Todos os acidentes, se causarem ferimentos ou lesões, devem ser denunciados e investigados pela Polícia de Trânsito na hora e na cena do acidente, através de um Boletim de Ocorrência (BO) ou Registro de Ocorrência (RO). O BO é um documento elaborado pela Polícia de Trânsito e pode ser conceituado como o registro ordenado e minucioso das ocorrências que exigem a intervenção policial. É através desse documento que são fornecidas uma série de dados (local, horário, dia da semana, nomes de agentes, vítimas, sexo, idade dos envolvidos, testemunhas, condições meteorológicas, fase do dia, veículos envolvidos, vestígios e instrumentos de sinalização instalados no local) e um croqui detalhado do acidente ocorrido. É

um documento oficial e deve seguir princípios expressos e conhecidos pela administração pública. O documento é feito ainda no local do acidente, pelo próprio policial de trânsito.

Os acidentes de trânsito sem ferimentos ou lesões são reportados pelos envolvidos através de um formulário em papel no local do acidente, chamado RO. O RO é um documento semelhante ao boletim de ocorrências, porém com quantidade inferior de informações, aonde as pessoas envolvidas no acidente relatam o ocorrido diretamente no local do acidente.

Atualmente, as informações relativas aos acidentes de trânsito em rodovias federais são levantadas pela Polícia Rodoviária Federal, por intermédio de um BO chamado Boletins de Acidente de Trânsito (BAT), onde são obtidas as principais informações necessárias para estudos no campo da segurança viária. 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 ([DPRF, 2017](#)).

O maior problema com a qualidade dos dados de acidentes no Brasil tem sido a falta de cuidado na identificação e registro da localização precisa do acidente. Atualmente, existem quatro bases de dados de acidentes, três delas (DENATRAN, DATASUS e DPVAT) buscam contabilizar as mortes em acidentes de trânsito em nosso país. São bases com estatísticas distintas umas das outras e podem espelhar um contexto nacional distorcido e distante da realidade porque muitos acidentes com vítimas não são registrados pela polícia, pois ela nem sempre é acionada. Além disso, muitas vezes, a vítima morre posteriormente no hospital, dado que não é computado pela polícia. São elas:

- a) DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito;
- b) DATASUS – Banco de dados do Sistema Único de Saúde/MS;
- c) Seguros DPVAT - Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre ou por sua Carga a Pessoas Transportadas ou Não.
- d) DPRF - Polícia Rodoviária Federal.

Até 2015, não havia sistema formal para referência de localização para a coleta de dados no Brasil apesar de ter sido reconhecido há algum tempo como uma deficiência fundamental nos registros de acidentes. Só recentemente o DPRF estabeleceu um sistema de georreferenciamento com uso de Global Positioning System ou Sistema de Posicionamento Global (GPS). A

localização do acidente, portanto, ainda era descrita em palavras em termos gerais e com frequência pelo nome da estrada e uma marca do quilômetro próximo de onde ocorreu o acidente, mas se a estrada era muito longa, não havia uma forma efetiva de determinar onde realmente o acidente ocorreu ao longo da estrada.

Uma vez que todos os formulários de papel do DPRF são preenchidos pelo agente de polícia, estes são os dados de entrada para os operadores que mantêm a estrutura do banco de dados de acidentes. Esse banco contém principalmente três tabelas:

- a) A tabela principal do acidente contendo detalhes do acidente;
- b) A tabela detalhada do acidente descrevendo o veículo e informações do motorista para cada acidente; e
- c) A tabela de pessoas lesionadas que contém informações sobre as vítimas.

No Brasil consideram-se como óbitos quando as vítimas fatais ocorreram no momento do acidente de trânsito ou até 48 horas depois. Porém, na maioria dos países de primeiro mundo, aguarda-se a possibilidade de uma vítima vir a óbito durante dias ou semanas depois do acidente.

Embora no Brasil exista uma boa estrutura para o banco de dados para as rodovias federais, o maior problema é que os dados e as informações não são interligados para que possam ser atualizados de forma estruturada como precisa ser. O principal exemplo disso é que se a atualização da gravidade da vítima mudar, não há mecanismo para que este item de dado seja atualizado na base de dados. Se uma vítima morreu no caminho para o hospital ou prazo de um mês após ter recebido ferimentos graves, essa informação não será atualizada no banco de dados principal de acidentes da DPRF. Assim sendo há uma probabilidade de que o número de mortes no Brasil esteja sendo subnotificado ([CNM, 2018](#)).

2.2.1 Base de dados do DENATRAN

O DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito elabora seus anuários estatísticos a partir dos boletins de ocorrência lavrados pela polícia de trânsito. Computa, portanto, apenas as mortes “in loco”. Trata-se da fonte com o maior nível de desagregação de dados para análises.

Indica, por estado e por capitais, além do número de mortes, o sexo das vítimas, faixa etária e tipo (condutor, pedestre, passageiro, ciclista, motociclista e outros).

Apesar de serem os dados mais detalhados, são os mais subestimados, ficando bem longe da realidade. Muitos acidentes com vítimas não são registrados pela polícia, visto que nem sempre a mesma é acionada. Além disso, se a vítima não morre no local do acidente e morre posteriormente no hospital, ou no trajeto para o hospital ou ainda em qualquer outro local por traumas decorridos do acidente, esse dado não é computado pela polícia.

2.2.2 Base de dados do Ministério da Saúde

O Ministério da Saúde, por meio do DATASUS, elabora as estatísticas de óbitos decorrentes de acidentes de trânsito a partir da documentação do Sistema Único de Saúde (SUS). Esse sistema do MS computa as mortes das pessoas atendidas em estabelecimentos de saúde. Existe uma subnotificação de dados de acidentes nessa base, uma vez que, muitos dos acidentados admitidos em hospitais não são identificados como vítimas de AT, mas como de acidentes em geral e a quantidade de mortes registradas pelos hospitais chega a ser até 80% menor que os pedidos de indenização feitos ao DPVAT.

A operacionalização desse Sistema é composta pelo preenchimento e coleta da Declaração de Óbito (DO) feita no estabelecimento de saúde, documento de entrada do sistema nos estados e municípios. Nos casos de óbitos por causas acidentais e/ou violentas o legista do Instituto Médico Legal (IML) ou, no caso de não existir na localidade o IML, o perito designado para tal preenche a DO. Essa DO passa pelas instâncias municipal e estadual, até ser consolidada pelo Centro Nacional de Epidemiologia (Cenepi), na base nacional do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM).

2.2.3 Base de dados dos Seguros DPVAT

A terceira fonte é a Seguradora Líder dos Consórcios do Seguro DPVAT, um seguro obrigatório, instituído em 1974, para amparar as vítimas de acidentes com veículos. A instituição que administra o DPVAT vem divulgando a quantidade de seguros pagos por mortes no trânsito anualmente, por região e segundo o perfil das vítimas.

Essa avaliação global do número de mortes por ano segundo os seguros pagos é a fonte mais próxima da realidade brasileira. No entanto, assim como no DENATRAN e no DATASUS, também é possível considerar a existência de um subregistro. Mesmo pagando regularmente esse seguro, muitos brasileiros ainda desconhecem o direito de receber indenização em caso de morte, invalidez permanente e despesas médicas e hospitalares de vítimas de acidentes de trânsito. Assim, nem todos os casos de morte por AT geram pedidos de indenização junto às seguradoras do DPVAT, fato que deixa seus números também um pouco aquém da realidade.

2.2.4 Base de dados da DPRF

O Sistema BR-Brasil é um sistema desenvolvido pelo DPRF que visa suprir todas as deficiências operacionais em termos de informatização e controle, disponibilizando seus registros on-line das rodovias federais em todo o país.

O Sistema BR-Brasil cataloga todos os boletins de ocorrência registrados após um acidente em uma rodovia federal. São várias as informações cadastradas, incluindo diversos detalhes sobre os veículos e pessoas envolvidas e sobre as condições do local, resguardando-se os dados pessoais, que permitem a identificação dos envolvidos. É importante destacar que há cerca de 2 anos a PRF só registra BO, ou seja, não registra mais acidentes sem vítimas fatais. Acidentes com danos materiais apenas devem ser registrados pelo acidentado diretamente no site da PRF por RO.

Infelizmente a realidade brasileira sobre a disponibilidade de dados de acidentes é bastante precária. Apesar de alguns esforços isolados realizados no sentido de se desenvolver bases de dados amplas, detalhadas e confiáveis, ainda são frequentes problemas como descontinuidade nos registros de acidentes, duplicidade de dados e armazenamento não digital. Tais problemas limitam significativamente o tratamento da segurança através de medidas reativas baseadas nas informações sobre acidentes como, por exemplo, o tratamento de pontos críticos e desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes.

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 (100 metros). A partir de 2017 essa localização também vem sendo coletada utilizando GPS, o que traz uma melhoria de precisão

significativa, no entanto, a classificação dos segmentos homogêneos ainda não relaciona a localização geográfica dos acidentes e as características espaciais do entorno (PRF, 2018).

2.3 SISTEMA DE COLETA DE DADOS EM OUTROS PAÍSES

A segurança rodoviária é reconhecida internacionalmente como uma área em que os governos podem atuar para minimizar o trágico impacto criado pelos acidentes em termos de vida humana e lesões. As bases de dados de acidentes auxiliam as autoridades a definir programas realistas, tanto em termos de recursos humanos e financeiros, para reduzir o risco de acidentes para todos os tipos de usuário das estradas. A abordagem de coleta e tratamento dos dados de acidentes de trânsito adotados no Reino Unido, Estados Unidos, Austrália, Suíça, Holanda e em outros países da União Européia são reconhecidos mundialmente. Alguns exemplos de sucesso na coleta e tratamento dos dados de acidentes, segundo O Relatório Anual da Segurança Viária - *Road Safety Report* ([OECD/ITF/IRTAD, 2018](#)), são descritos a seguir.

a) Austrália

A Austrália mantém uma organização internacional, o Centro de Pesquisas de Acidentes da Universidade de Monash (MUARC), desde 1987, focada em acidentes de trânsito, com a missão de recolher dados, realizar estudos e fornecer subsídios para formulação de políticas, elaboração de normas e leis, e base para outras ações.

No governo Australiano, no ambiente regulatório se vê altas penalidades para os maiores fatores de risco comportamentais, como dirigir em alta velocidade e beber. As autoridades colocaram grande ênfase em seus esforços na base de dados e fiscalização para reparar e conter os acidentes rodoviários. Para garantir que sua mensagem sobre segurança no trânsito chegue aos jovens o governo também investe em campanhas publicitárias mostrando a brutalidade dos acidentes de trânsito e alertando sobre as consequências desses jovens serem pegos pela polícia.

Os dados de acidentes são coletados e validados pela polícia e pelas agências de transporte em cada um dos oito estados e territórios. Protocolos comuns para a coleta de dados de fatalidades permitiram o estabelecimento de um banco de dados nacional confiável sobre fatalidade rodoviária, gerenciado pelo Departamento Federal de Infraestrutura e

Desenvolvimento Regional. Cada acidente tem um registro único para vincular os dados de casos hospitalares de estados e territórios com dados de acidentes de trânsito e a adoção de padrões comuns que permitiram agregação e geração de relatórios nacionais. Uma pessoa que morre dentro de 30 dias após um acidente é notificada como resultado de ferimentos recebidos naquele acidente.

b) Suíça

Desde janeiro de 2011, o *Federal Roads Office* (FEDRO) é responsável por todos os dados de acidentes das estradas suíças. Um formulário de registro foi apresentado a todas as forças policiais e uma plataforma para entrada e análise de dados (estatística e geográfica) está disponível online. Para estimar a extensão real das lesões no trânsito, os dados relatados pela polícia são comparados com os dados de seguro. Os fatores são calculados para corrigir o número de casos não relatados por uso da estrada e faixa etária.

Para entender melhor as consequências dos acidentes de trânsito, o governo federal suíço realizou um projeto de pesquisa para vincular dados reportados pela polícia de um determinado ano a outras fontes de dados, incluindo dados hospitalares. Isso permitiu a codificação das lesões decorrentes dos acidentes de trânsito, com base na Classificação Internacional de Doenças (CID-10).

Cada acidente tem um registro único associado ao local onde ocorreu o acidente através de coordenadas geográficas. É considerado acidente fatal a morte ocorrida dentro de 30 dias após o acidente na estrada e acidente grave se a hospitalização for por pelo menos 24 horas.

c) Holanda

Na Holanda, o governo está comprometido ao princípio do Sistema Seguro que teve início de forma pioneira na década de 1990, por meio do programa Segurança Sustentável, na Holanda, testando ações específicas para chegar a respostas capazes de salvar vidas de forma mais rápida e eficaz. Esse sistema baseia-se no princípio de que erros humanos irão acontecer, portanto o sistema viário deve fazer com que esses erros não resultem em ferimentos graves ou fatalidades, ou seja, a presente geração não deve produzir um ambiente rodoviário que contribua para um

risco inerente de morte ou lesão nas gerações futuras. O Instituto de Pesquisas de Segurança e do Ministério dos Transportes tem trabalhado em estreita colaboração na formulação da Estratégia de Segurança Sustentável. Incorporando em suas bases de dados o conceito de desenvolvimento ecologicamente sustentável, o governo aplicou a essência deste princípio ecológico à segurança rodoviária.

Em março de 2016, um aplicativo para smartphone foi lançado, permitindo relatórios de acidentes rodoviários por indivíduos, apoiados e (parcialmente) verificados pela polícia ou por uma companhia de seguros. Os acidentes também podem ser relatados através da ferramenta on-line, www.mobielschademelden.nl. Esta fonte de dados ainda é de qualidade e quantidade desconhecidas. As esperanças são que acidentes que não são relatados pela polícia sejam registrados, evitando a subnotificação dos dados.

d) Reino Unido

Existem três fontes principais de informações de segurança no Reino Unido: 1) O sistema nacional de notificação de acidentes rodoviários, STATS19, que se baseia em relatórios policiais. 2) Informações de médicos legistas (na Inglaterra e no País de Gales) e procuradores fiscais (na Escócia) registrando os níveis de álcool no sangue de pessoas mortas em acidentes de trânsito e 3) Estatísticas de Episódios hospitalares (HES)

A fim unificar as bases de dados e realizar facilmente a análise de acidentes e comparação entre os Estados membros, a União Europeia desenvolveu uma base de dados de acidentes integrada a nível europeu. Este programa resultou no Banco de Dados Internacional sobre Trânsito Rodoviário e Acidentes (IRTAD). O desenvolvimento de um banco de dados de acidentes rodoviários foi fortemente defendido por profissionais de segurança viária como uma ferramenta essencial para tomada de decisão para combater eficazmente o enorme problema de segurança rodoviária em toda a União Europeia ([IRTAD, 2018](#)). O IRTAD já se tornou uma fonte valiosa para análise comparativa de desenvolvimento de segurança em diferentes países. É o único banco de dados internacional que analisa explicitamente a consistência histórica e comparabilidade internacional de dados sobre estradas, trânsito e acidentes.

A maioria dos dados que está incluído no banco de dados do IRTAD, vem do STATS19 que contém informações do local onde ocorreu o acidente. A ligação de dados HES de hospitais e

dados policiais da Inglaterra oferece uma melhor compreensão da gravidade e dos resultados das lesões decorrentes do acidente. Acidentes de trânsito cujos ferimentos resultaram em morte dentro de 30 dias são considerados fatais. Os suicídios confirmados são excluídos dessa base.

e) Estados Unidos

A Polícia Estadual coleta dados sobre acidentes de trânsito de veículos automotores em estradas específicas dos 50 estados e Porto Rico. Cada estado também possui jurisdições policiais locais que coletam dados sobre o trânsito de veículos automotores em estradas não cobertas pela Polícia Estadual.

O Sistema de Notificação de Análise de Fatalidade (FARS) é um censo nacional que fornece dados ao *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA). Para números gerais de acidentes, o NHTSA não diferencia entre acidentes graves e levemente feridos. Um acidente é considerado um acidente com danos se não houver fatalidades, se alguém envolvido no acidente (ocupante ou não ocupante) foi relatado como ferido.

O Sistema Nacional de Amostragem Automotiva (NASS) fornece ao NHTSA uma solução eficiente para conduzir a coleta de dados, coletando-os eletronicamente. O NASS é composto por dois sistemas - o *Crashworthiness Data System* (CDS) e *General Estimates of Vehicle Condition System* (GES). Estes são baseados em casos selecionados de uma amostra de relatórios de acidentes policiais. Os dados do CDS concentram-se em acidentes de veículos de passageiros e são usados para investigar mecanismos de lesão para identificar possíveis melhorias no design do veículo. O GES concentra-se no quadro geral mais amplo de acidentes e são usados para avaliações dos problemas relacionados aos acidentes e acompanhamento de tendências.

Em 2012, o Congresso dos Estados Unidos destinou US\$ 25 milhões à NHTSA para modernizar NASS. O projeto *DataMod* foi implementado em 2016 com o objetivo de integrar as bases de coleta e análise de dados de acidentes, fornecendo dados de qualidade para acompanhar o ritmo das tecnologias emergentes e necessidades políticas. Acidentes de trânsito cujos ferimentos resultaram em morte dentro de 30 dias são considerados fatais.

De uma maneira geral, em todas as bases de acidentes descritas acima, os dados necessários para aplicação nos métodos de identificação e diagnóstico de pontos críticos de acidentes incluíram: dia/mês/ano do acidente; dia da semana; horário; condição meteorológica;

município; localização georreferenciada; uso do solo, se urbano ou rural; traçado e sentido da via; tipo de pista; análise do trecho homogêneo; tipo dos veículos e a quantidade destes envolvidos em cada acidente; classificação dos acidentes de acordo com a gravidade; tipo e causa dos acidentes; tráfego diário médio anual e custos relacionados.

A localização do acidente através das coordenadas do local é adotada em todos os lugares, mas, em muitos casos não é determinado no campo e sim no escritório com a ajuda de um mapa. Alguns Estados dos EUA, Suíça, Austrália e no Reino Unido começaram a usar tecnologia GPS como uma ferramenta para referenciar um acidente junto com mapas SIG armazenados em aparelhos móveis. Os bancos de dados mais comumente usados são o MS Access e o Oracle, visto que esses bancos são compatíveis com a maioria das plataformas SIG.

Não há dúvida sobre a necessidade urgente do desenvolvimento de uma base de dados apropriada para o estudo da realidade brasileira do problema de falta de segurança viária. Porém, são necessários anos de registros contínuos e confiáveis para que se possa desenvolver estudos apropriados sobre os fatores contribuintes dos acidentes, identificar o padrão dos acidentes ocorridos nos chamados pontos críticos e enfim adotar medidas corretivas que contribuam para a melhoria das condições de segurança da rodovia.

2.4 SEGMENTAÇÃO HOMOGÊNEA E IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS

O [Ministério dos Transportes do Brasil \(2002\)](#) define pontos críticos, como sendo os trechos ou interseções que, apresentam um número de acidentes elevado quando comparados com outros trechos ou interseções.

A identificação de locais críticos é um dos modos de avaliação da segurança viária mais utilizada no Brasil nas últimas décadas ([DNIT, 2010](#)). É um instrumento que permite criar um ranking, priorizando o tratamento de trechos ou interseções que necessitem de maior atenção. Baseiam-se no fato de que os acidentes, apesar de sua distribuição espacial, tendem a agregar-se em determinados locais da malha viária. Embora sua análise seja conceitualmente simples, existem várias dificuldades na sua aplicação. O grande problema está relacionado com a coleta e a qualidade dos dados que chegam aos gestores. Boa parte destes dados apresenta inconsistências, o que reduz a possibilidade de sua utilização. Mesmo onde existem dados disponíveis, análises

simplificadas, considerando apenas a frequência total de acidentes, podem incorrer em erros, conduzindo a resultados menos realísticos.

Os métodos para identificação de locais críticos encontrados na literatura são classificados em numéricos, estatísticos, técnicas do conflito e auditoria de segurança viária.

Os Métodos Numéricos são os mais simples e de mais fácil aplicação, sendo por esse motivo os mais utilizados na prática. Identificam os locais críticos a partir do cálculo de indicadores (quantidade de acidentes, taxas de acidentes), que são comparados com um valor pré-estabelecido. São declarados como locais críticos aqueles cujo indicadores calculados sejam maiores que os valores de referência. Absolutos, considera a quantidade de acidentes de forma absoluta, sem relacioná-los a qualquer outra variável. O custo social do acidente de trânsito é visto como uma sofisticação desse método, considerando-se nesta duas categorias técnicas.

Os Métodos Estatísticos envolvem a utilização de métodos matemáticos probabilísticos que determinam os locais onde o risco de acidente é superior ao estimado ou esperado, considerando-se nesta categoria o método geoestatístico ou estatística espacial ([BOFFO, 2011](#)). Na Estatística Espacial os acidentes são caracterizados como variáveis aleatórias que apresentam estrutura espacial, as chamadas funções regionalizadas. Uma estrutura espacial considera a localização geográfica de onde ocorreu o evento e a sua forma geométrica, suas relações de proximidade e adjacências (algoritmos geométricos) e portanto, pode relacionar as características espaciais do entorno (variáveis socioeconômicas, uso do solo, etc). Sob determinadas hipóteses, torna-se possível fazer inferências e previsões a partir de amostras.

A probabilidade de ocorrência de um acidente pode estar vinculada a fatores aleatórios onde é independente o local do acidente, estando associados com a impudência do motorista, por exemplo, ou a fatores não aleatórios que estão vinculados a um ou mais atributos relativos ao local do acidente.

A consideração do segmento como crítico ou não é feita a partir de um teste de hipóteses. Assim, supõe-se:

$$H_0: (p_s \leq \lambda)$$

$$H_1: (p_s > \lambda)$$

Em que:

λ =probabilidade (estimada) de ocorrer um acidente num veículo-km da amostra durante um intervalo de tempo Δt .

p_s =probabilidade de ocorrer um acidente num veículo/km da amostra durante um intervalo de tempo Δt .

A determinação da aceitação ou não de H_0 é uma função da denominada razão crítica ($r_{1-\alpha}$), a qual é embasada no nível de significância (α) através da utilização do coeficiente k , segundo [Equação 1](#) abaixo.

$$r_{1-\alpha} = \lambda + k_{1-\alpha} \sqrt{\frac{\lambda}{m_j} - \frac{0,5}{m_j}} \quad (1)$$

Em que:

$$m_j = VDMa_j * E_j \quad (2)$$

Em que:

$VDMa_j$ = Volume Diário Médio Anual no segmento analisado

E_j = Extensão do segmento j

K = constante estatística

O valor de K está relacionado com o nível de significância requerido no teste de hipótese elaborado ([Tabela 1](#)). O nível de significância, por sua vez, é o valor da probabilidade tolerável de incorrer do erro de rejeitar H_0 , quando H_0 é verdadeira. É obtido da tabela de curva normal, sendo chamado de Z . à medida que diminui o nível de significância aumenta o valor de k e, por conseguinte diminuem o número de trechos considerados críticos.

Assim, quando:

(Número de acidentes observados)/ $m > r_{1-\alpha}$: rejeita-se H_0 , então o segmento é crítico

(Número de acidentes observados)/ $m < r_{1-\alpha}$: não se rejeita H_0 , então o segmento não é crítico.

Existem várias experiências no Brasil para tratar os dados de acidentes de trânsito. Podemos destacar o manual PARE (Procedimentos Para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito) desenvolvido pelo Ministério dos Transportes ([BRASIL, 2002](#)) e o HSM

([AASHTO, 2015](#)), desenvolvido pelos Estados Unidos. Ambos necessitam de informações e tratamentos estatísticos, que apesar da baixa complexidade, são trabalhosos, demandando muito tempo para compatibilizar os dados.

Tabela 1 – Valores do coeficiente k de acordo com a curva normal

Nível de Significância	Nível de Confiança	α	k
15%	85%	0,015	1,036
10%	90%	0,100	1,282
5%	95%	0,050	1,645
1,0%	99%	0,010	2,326
0,5%	99,5%	0,005	2,580
0,1%	99,9%	0,001	3,000

Fonte: DNIT (2016).

Utilizando como base para identificação de pontos críticos o método PARE, podemos citar os trabalhos de [Queiroz et al., \(2004\)](#) e [Juppa, \(2010\)](#). Porém vale ressaltar que os trabalhos citados buscaram utilizar outras ferramentas que possibilitasse alcançar um melhor resultado na identificação de pontos críticos, como métodos de agrupamentos espaciais.

Cabe ainda ressaltar estudos acadêmicos desenvolvidos no Brasil utilizaram como base para identificação de pontos críticos o método HSM, como pode ser visto nos trabalhos de ([SANTANA et al.,2015](#); [CHAGAS,2011](#); [KOLNMAN RABANNI et al.,2015](#), [MACEDO e KOLNMAN RABANNI, 2014](#); [CHAGAS, 2014](#); [CUNTO, 2014](#); [CUNTO et al., 2012](#); [ROCHA E SILVEIRA, 2013](#)).

Os estudos dos locais e trechos críticos dependem da divisão do sistema viário em trechos homogêneos, ou seja, segmentos nos quais as características físicas e de tráfego são uniformes. Com isso, torna-se necessária a correta caracterização, segmentação e classificação de cada trecho estudado. A definição dos trechos homogêneos permite que parâmetros de tráfego coletados em um determinado ponto do trecho sejam considerados válidos para toda a sua extensão, em função da uniformidade das suas características físicas e composição de tráfego.

Os segmentos homogêneos podem ainda ser subdivididos em estudos direcionados a meios urbanos e meios rurais. Em muitos casos, seus conceitos (urbano e rural) são confundidos pela dificuldade de caracterização do meio ambiente estudado. Por exemplo, o crescimento

desordenado na faixa de domínio, em diversas rodovias, pode descaracterizar a rodovia como um meio rural e esse trecho pode ser tratado como um meio urbano, uma vez que variáveis como ciclistas e pedestres estão envolvidos nas análises.

2.4.1 Métodos do Programa PARE

A identificação dos segmentos homogêneos pela metodologia do Programa PARE do Ministério dos Transportes é estruturada no método numérico, com base em procedimentos matemáticos seguindo um Modelo para Identificação dos Segmentos Críticos de uma rede de Rodovias ([DNER, 1999](#)).

O processo de segmentação homogênea foi atualizado pelo DNIT em 2010. Conforme o [DNIT \(2010\)](#), os segmentos homogêneos de rodovias são caracterizados pela definição de trechos rodoviários conforme um conjunto de características semelhantes, sendo que essas características podem ser diversas, dependendo da abordagem a ser realizada. Pode ser conveniente, por exemplo, agrupar trechos que possuem volume de tráfego constante em toda a sua extensão, sejam providos com as mesmas características geométricas ou que estejam inseridos em um mesmo solo lindeiro. Os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia são fundamentados na probabilidade da ocorrência de um acidente em um determinado segmento, tendo como base de comparação uma amostra estudada. As amostras, neste caso, devem ser segmentadas de acordo com a classificação das rodovias, mostrada na [Figura 4](#), cujas combinações resultam em doze classes de segmentos homogêneos.

Figura 4 – Códigos de desagregação da rodovia

CÓDIGO	CARACTERÍSTICA DA PISTA	USO DO SOLO LINDEIRO	PERFIL DA RODOVIA
SUP	Simples	Urbano	Plano
SUO	Simples	Urbano	Ondulado
SUM	Simples	Urbano	Montanhoso
SRP	Simples	Rural	Plano
SRO	Simples	Rural	Ondulado
SEM	Simples	Rural	Montanhoso
DUP	Dupla	Urbano	Plano
DUO	Dupla	Urbano	Ondulado
DUM	Dupla	Urbano	Montanhoso
DRP	Dupla	Rural	Plano
DRO	Dupla	Rural	Ondulado
DRM	Dupla	Rural	Montanhoso

Fonte: DNIT (2010).

Os métodos numéricos mais utilizados pelo PARE para identificação dos pontos críticos são os seguintes:

- a) Índice crítico anual de referência: agrupamento dos dados que possuem a mesma classificação de forma a criar trechos que possam ter um índice crítico de referência. É dada pela [Equação 3](#) abaixo:

$$\lambda = \frac{\sum N_j}{365 \sum (VDMa)_j \times E_j} \quad (3)$$

- b) Índice crítico anual de acidentes: índice crítico de acidentes individual para vários níveis de significância determinados para um segmento j. É dada pela [Equação 4](#) abaixo:

$$ICj = 10^6 \lambda + K \sqrt{\frac{\lambda \times 10^6}{10^{-6} \times m_j}} + \frac{0,5}{10^{-6} \times m_j} \quad (4)$$

Em que:

ICj = Índice Critico Anual de Acidente no local j;

λ = Taxa média de acidentes em local semelhante (acidentes/ano x km);

K = constante estatística;

m_j = Volume diário médio anual multiplicado pela extensão do segmento j;

0,5 = Correção estatística, decorrente da necessidade de transformar a variável aleatória x, distribuída binomialmente, em uma variável contínua x, normalmente distribuída.

Os segmentos que tiverem, individualmente, seus índices críticos de acidentes maiores que os índices críticos anuais de referência de seu trecho, obedecendo à desigualdade apresentada a seguir ([Equação 5](#)), serão considerados como segmentos críticos:

$$I_j \geq (IC)_j \quad (5)$$

A categorização dos trechos críticos é realizada de acordo com o coeficiente (k) e o nível de significância adotado, como mostra a [Tabela 2](#).

Tabela 2 – Índice de categorização dos segmentos Método PARE

Intervalo entre graus de confiança (1- α)	Categorização
$Ij \geq (IC)j_{1-0,10}$	Segmento não é crítico
$(IC)j_{1-0,10} < Ij < (IC)j_{1-0,05}$	Segmento crítico (Levemente significativo)
$(IC)j_{1-0,05} < Ij < (IC)j_{1-0,005}$	Segmento crítico (Significativo)
$Ij < (IC)j_{1-0,005}$	Segmento crítico (Altamente significativo)

Fonte: DNIT (2010).

A severidade dos acidentes pode ser afetada por diversos fatores, como a velocidade do impacto, ponto de impacto, idade e condições de saúde dos ocupantes do veículo, dentre outros. Por isso, o método PARE considera ainda um índice Relativo de Gravidade que leva em consideração o número de acidentes e destaca a severidade dos mesmos associando a cada situação um peso, instituído pelo DENATRAN (2002) como Unidade Padrão de Severidade (UPS). É dada pela [Equação 6](#):

$$IRGj = ASV \times CM_{ASV} + ACV \times CM_{ACV} + ACO \times CM_{ACO} \quad (6)$$

Em que:

$IRGj$ = Índice Relativo de Gravidade do segmento j ;

$CM_{ASV}, CM_{ACV}, CM_{ACO}$ = Custo médio dos acidentes sem vítimas, com vítimas e óbitos;

ASV, ACV, ACO = número de acidentes sem vítimas, com vítimas e óbitos.

A [Tabela 3](#) mostra o custo médio dos acidentes de trânsito no Brasil com base em UPS e valores corrigidos em dezembro de 2016, vigentes até a presente data.

Tabela 3 – Custo médio dos acidentes de trânsito no Brasil com base em UPS

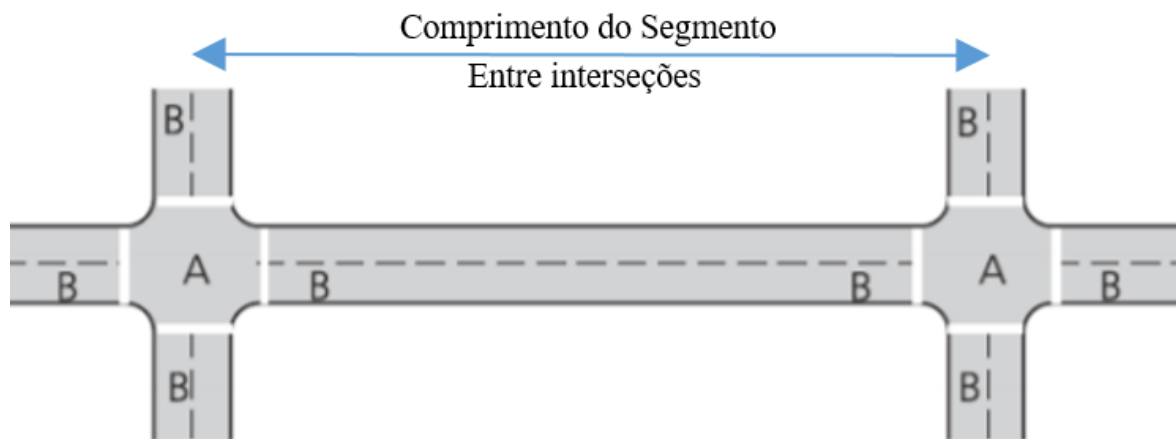
Gravidade do acidente	Com Fatalidade	Com Vítimas	Sem Vítimas
UPS	28	4	1
Custo médio corrigido (R\$) (dez/2016)	788.826,00	114.793,48	27.881,83

Fonte: DNIT (2010).

2.4.2 Métodos do HSM

Conforme definido no HSM, [AASHTO \(2015\)](#), um segmento de rodovia é uma seção de forma contínua que possibilita operação de duas vias de tráfego, que não é interrompido por um cruzamento, e consiste em recursos de controle de tráfego homogêneos. Um segmento começa no centro de uma interseção e termina no centro da próxima interseção, ou onde existe uma mudança a partir de um segmento homogêneo para outro segmento homogêneo. Quando um segmento de pista começa ou termina num cruzamento, o comprimento do segmento de pista é medido a partir do centro da interseção ([Figura 5](#)).

Figura 5 – Disposição dos limites originais de segmentos e interseções do HSM



- A - Todos os acidentes que ocorrem em interseções são classificados como acidentes em interseções**
B - A classificação dos acidentes nessa região dependem das características do acidentes

Fonte: Adaptado da AASHTO (2015).

O HSM menciona que em um processo de segmentação de rodovias com comprimento variável, cada segmento apresentará homogeneidade em relação as características tais como volume de tráfego e recursos de controle de tráfego. No entanto, é provável que vários segmentos homogêneos estejam localizados entre dois cruzamentos. Essa segmentação leva em consideração as seguintes variáveis:

- a) Volume diário médio anual (VDMA);

- b) Largura da faixa (LW): é recomendado seguir os arredondamentos apresentados na [Tabela 4](#), sendo importante ressaltar que a precisão de determinação da largura de faixa pode ser de aproximadamente de centímetros.

Tabela 4 – Arredondamento considerado para segmentação de trechos homogêneos referente a largura das faixas

LW – Largura da faixa medida (m)	Arredondamento (m)
$LW \leq 2,8$	$\geq 2,8$
$2,8 < LW < 3,0$	2,9
$3,0 \leq LW \leq 3,1$	3
$3,1 < LW \leq 3,3$	3,2
$3,3 < LW \leq 3,4$	3,4
$3,4 < LW < 3,6$	3,5
$LW \geq 3,6$	3,6

Fonte: AASHTO (2015).

- c) Largura do acostamento (SW): é recomendado seguir os arredondamentos apresentados na [Tabela 5](#). Semelhante ao item de largura de faixa, a precisão de determinação da largura do acostamento pode ser de aproximadamente dez centímetros.
- d) Tipo de revestimento do acostamento;
- e) Densidade de acessos (acessos/km): como a densidade de acessos é inversamente proporcional ao comprimento do segmento, o uso de trechos muito curtos (menores que 0,800 km) resulta em um número de acessos superior ao real;
- f) Índice de obstáculos laterais (à direita do sentido do tráfego): é medido em uma escala que varia de 1 a 7, sendo um valor subjetivo adotado a partir da opinião do analista. Por ser um valor subjetivo, admite-se que pode haver variação de até dois níveis da escala no segmento analisado;
- g) Presença/ausência de guias sonoras centrais;
- h) Presença/ausência de iluminação na rodovia;
- i) Presença/ausência de fiscalização eletrônica.

Tabela 5 – Arredondamento considerado para segmentação de trechos homogêneos referente a largura dos acostamentos pavimentados

LW – Largura da faixa medida (m)	Arredondamento (m)
$SW \leq 0,2$	0
$0,2 < LW < 0,5$	0,3
$0,5 \leq LW \leq 0,8$	0,6
$0,8 < LW \leq 1,1$	0,9
$1,1 < LW \leq 1,4$	1,2
$1,4 < LW \leq 1,7$	1,5
$1,7 < LW < 2,0$	1,8
$2,0 < LW < 2,3$	2,1
$LW \geq 2,3$	2,4

Fonte: AASHTO (2015).

Os métodos mais utilizados pelo HSM para identificação dos pontos críticos são os seguintes métodos numéricos:

- a) Taxa de Acidentes: a taxa de acidentes é uma relação entre o número de acidentes e uma medida de exposição. Normalmente o volume de tráfego é utilizado como medida de exposição. Nas interseções das rodovias (*nodes*), o volume de tráfego considerado é a soma de todos os veículos que chegam ao nó. Para os trechos de tangente (*links*) é a soma de todos os veículos em ambas as direções. É dada pela [Equação 7](#):

$$Rrp = \frac{\sum f_j \times 10^6}{365,25 \times P \times \sum l_j \times Q_w} \quad (7)$$

Em que:

Rrp =Taxa de acidentes (acidentes/Km);

f_j = Frequência de acidentes no local;

P = Período de análise (anos);

l_j = Comprimento da seção do local (km);

Q_w = Tráfego diário médio anual (VDMA), dado pela equação:

$$Q_w = \frac{\sum(Q_j \times L_j)}{\sum L_j} \quad (8)$$

Em que: Q_j = VDMA no local j.

- b) Taxa crítica de acidentes: compara a taxa de acidentes num local com a taxa média dos acidentes num grupo de locais com características similares. Assume que locais que tem características similares tem que ter níveis de segurança similares. Apesar dessa suposição e devido à natureza aleatória dos acidentes, a taxa de acidentes num local pode muito bem exceder a taxa média de acidentes de sua população de referência sem ser necessariamente perigoso. Nesse caso, considera-se a natureza aleatória e esse local pode ser classificado como um desvio da média. Esse critério calcula o valor mínimo da taxa de acidentes no qual um local pode ser considerado perigoso. Esse valor aumenta com o nível de confiança. É dada pela [Equação 9](#):

$$Rcj = Rrp + K \sqrt{\frac{Rrp \times 10^6}{365,25 \times PL_j \times Q_j}} + \frac{1 \times 10^6}{730,5 \times PL_j \times Q_j} \quad (9)$$

Em que:

Rcj = Taxa Crítica de Acidente no local j;

Rrp = Taxa média de acidente em local semelhante (acidentes/Mveic-Km);

K = constante estatística;

P = Período de análise (anos);

L_j = Comprimento da seção j (km);

Q_j = tráfego diário médio anual no local (VDMA);

Os segmentos que tiverem, individualmente, seus índices críticos de acidentes maiores que os índices críticos anuais de referência de seu trecho, obedecendo ao critério a seguir, serão considerados como segmentos críticos:

$$Rrp \geq Rcj$$

A categorização dos trechos críticos é realizada de acordo com o coeficiente (k) e o nível de significância adotado, como mostra a [Tabela 6](#).

Tabela 6 – Índice de categorização dos segmentos Método HSM

Intervalo entre graus de confiança ($1-\alpha$)	Categorização
$Rrp \geq Rcj_{1-0,15}$	Segmento não é crítico
$Rcj_{1-0,15} < Rrp < Rcj_{1-0,05}$	Segmento não é crítico
$Rrp < Rcj_{1-0,05}$	Segmento crítico

Fonte: DNIT (2010).

2.4.3 Método baseado em Análises Espaciais

Estudos tem mostrado que a ocorrência de acidentes raramente são eventos aleatórios. A análise espacial de eventos pontuais, referida como Análise de Padrões Pontuais ou *Point Pattern Analysis* (PPA), tem sido utilizada para analisar a distribuição de um conjunto de pontos (acidentes) numa superfície (rede) ([ERVIN, 2015](#)). O método PPA é dividido em duas categorias principais: (1) métodos baseado em densidade (denominados propriedades de primeira ordem) e (2) métodos baseados em distância (chamados propriedades de segunda ordem). O primeiro grupo mede intensidade dos eventos pontuais com base na densidade de uma região incluem técnicas como a estimativa de densidade do kernel (KDE) e análise quadrática. O segundo grupo mede a dependência espacial de eventos pontuais com base na distância dos pontos e inclui métodos como distâncias de vizinhos mais próximos, funções K e índice de Moran I ([O’SULLIVAN e UNWIN, 2014](#)).

Nos últimos anos, o Estimador de Intensidade de Kernel (KDE), desenvolvido por [Okabe et al. \(2009\)](#), tem sido amplamente usado em estudos de segurança rodoviária para detectar locais de acidentes perigosos ([LARSEN, 2010](#); [MOHAYMANY et al., 2013](#); [NIE et al., 2015](#); [ORIS, 2011](#); [VEMULAPALLI, 2015](#); [XIE e YAN, 2008](#)). O Estimador de Intensidade de Kernel pode ser considerado uma técnica de estatística espacial que demonstra onde estão alocadas as concentrações, de um determinado evento, em um plano. Este recurso utilizado em um SIG gera uma interpolação que se insere sobre as bases cartográficas, identificando o fenômeno georreferenciado, localizado no espaço geográfico, destacando a localização em que ocorre a

maior ou menor intensidade das concentrações do fenômeno, a partir de percepções de intensidade na visualização de uma coloração ([MATSUMOTO e FLORES, 2012](#)).

Uma revisão de literatura realizada por [Harirforoush e Bellalite \(2016\)](#) mostrou que o comprimento de um segmento de estrada tem um grande impacto nos resultados de pontos críticos em estradas. Alguns estudos, como [Miaou \(1994\)](#), utilizaram segmentos de estradas de comprimentos diferentes e outros, como [Erdogan et al., 2008](#), usaram tamanhos igual de segmentos de estrada e os resultados mostram que os pontos críticos são variados usando os segmentos de estradas de comprimento desigual. Para evitar resultados errados, [Okabe et al. \(2009\)](#) formularam uma função do Kernel denominada função de densidade de núcleo descontínua de divisão igual. Nesta abordagem, a função do Kernel da rede é definida para dois casos: (1) centro de kernel q não coincide com um nó (*node*), e (2) centro do kernel q coincide com um nó. No primeiro caso, a função é definida como mostrada a seguir ([OKABE et al., 2009](#)):

$$K_q(p) = \begin{cases} \frac{k(d_s(q*p))}{(n_{i1}-1)*(n_{i2}-1)...(n_{ik}-1)}, \\ 0 \end{cases} \quad (10)$$

Para $d_s(q, v_{ik-1}) \leq d_s(q, p) < d_s(q, v_{ik})$

Para $d_s(q, p) \geq h$

Em que:

$K(x)$ é a função base de Kernel; y é o centro de Kernel; d =distância mais curta entre x e y ; h = largura da banda (tamanho do comprimento onde serão buscados os nós) e n =grau do nó.

No segundo caso, o valor da função kernel em um vértice, v_{i1} , dividido por n_{i1} é atribuído aos trechos de tangente (*links*). A função é definida como:

$$K_q(p) = \begin{cases} \frac{2k(d_s(q*p))}{(n_{i1}-1)*(n_{i2}-1)...(n_{i2-1}-1)}, \\ 0 \end{cases} \quad (11)$$

Para $d_s(q, v_{ik-1}) \leq d_s(q, p) < d_s(q, v_{ik})$

Para $d_s(q, p) \geq h$

Utilizando ferramentas de agrupamentos espaciais para identificação de pontos críticos através do número absoluto de acidentes de trânsito e também pelo grau de severidade dos mesmos, alguns estudos no Brasil identificaram regiões de transição e tendências espaciais de crescimento dos acidentes de trânsito para novas áreas. ([QUEIROZ, 2003](#); [QUEIROZ, LOUREIRO e YAMASHITA, 2018](#)). Como já defendia Santos (2006) as ferramentas de análise espacial são grandes aliadas na compreensão do fenômeno dos acidentes, podendo assim contribuir para a sua redução.

2.4.4 Discussão sobre os métodos

A experiência brasileira no tratamento de acidentes de trânsito, com raras exceções, segue um modelo imediatista, no qual a solução do problema está associada à execução de práticas tradicionais no âmbito das sinalizações horizontal, vertical e/ou semafórica, associadas a correções na geometria viária, com tendência mais para a melhoria da fluidez que propriamente para a promoção da segurança dos usuários da via ([DNIT, 2017](#)).

O manual do Programa PARE recomenda a utilização dos métodos numéricos baseados nos totais de acidentes ou taxas de acidentes ou de severidade ([MT, 2002](#)). O manual do HSM leva em consideração um custo adicional associado a um Índice de Severidade Relativa (RSI) semelhante ao Índice Relativo de Gravidade (IRG).

Observa-se que os métodos baseados em dados de acidentes, nas características geométricas e do tráfego são preferidos para utilização, por serem diretamente aplicáveis, no entanto, a informação sobre acidentes deve estar disponível e atualizada. Os modelos incorporam os efeitos de muitas características geométricas, no entanto, não incluem todos. A ausência de um fator, como, por exemplo, o fator que caracteriza o local, não significa que esse fator não tenha efeito na frequência de acidentes. Essa ausência pode indicar que o efeito pode não ser totalmente conhecido ou, simplesmente, não tenha sido quantificado até ao momento ([DUARTE, 2012](#)).

Qualquer um dos métodos adotados depende da determinação adequada dos segmentos homogêneos onde os dados dos acidentes serão acumulados. Essa determinação baseia-se tanto na extensão do segmento quanto nas características de desenho e controle de tráfego.

O manual PARE considera que o comprimento não pode ser menor do que o utilizado para os registros de acidentes e nem muito grandes para não dificultar a tarefa de identificação

das características causadoras dos acidentes. Recomenda a utilização de trechos entre 1,1 e 1,9 km. O HSM considera que os segmentos são todos aqueles compreendidos entre duas interseções, não inferiores a 160m e respeitando características similares como, largura de faixa, canteiro central, largura e tipo de acostamento, presença de iluminação e controle de velocidade.

Apesar de mais detalhada, a caracterização de segmentos homogêneos de acordo com o HSM está distante da realidade brasileira, onde boa parte das rodovias não dispõe de dados atuais das características geométricas das rodovias. Nesse caso, o levantamento das informações é feito com os mapas desatualizados ou são utilizados os valores padrão recomendados pelo HSM, os quais foram mensurados a partir das características das estradas norte-americanas. Vale ainda ressaltar que, a caracterização do local do acidente (trechos de curvas ou tangentes) é feita através de inspeção visual, podendo comprometer a frequência de acidentes para um determinado local, visto que a identificação do início e do fim da curva, bem como seus trechos de transição pode ser comprometida ([KIRAN, 2017](#); [ANDRIOLA, 2018](#)).

A aplicação de métodos espaciais de análises como a de padrões pontuais possibilita entender melhor o fenômeno da distribuição espacial dos acidentes de trânsito, permitindo identificar locais com concentrações significativas, sejam eles interseções, trechos, corredores ou áreas. Em seu estudo, [Queiroz, Loureiro e Yamashita \(2018\)](#) mostraram que os métodos espaciais são eficientes e com enorme potencial de contribuição para estudos de identificação de locais críticos e os resultados obtidos demonstraram que as metodologias baseadas em métodos numéricos elaboradas atualmente no Brasil precisam ser revisadas para considerar o pressuposto da dependência espacial dos acidentes. Nesse estudo os autores utilizaram várias ferramentas de análise espacial para identificação de regiões de transição e tendências espaciais de crescimento dos acidentes de trânsito para novas áreas. Os autores também utilizaram ferramentas de agrupamentos espaciais para identificação de pontos críticos através do número absoluto de acidentes de trânsito, pelo grau de severidade dos mesmos e também pelas características do local onde ocorreu o acidente.

Diante do exposto, esse estudo propõe uma segmentação semi-automática dos trechos homogêneos, considerando variáveis adaptadas à realidade brasileira. Para a quantificação das áreas homogêneas são utilizadas técnicas de geoprocessamento que permitem isolar determinadas regiões. Essas técnicas baseiam-se em algoritmos matemáticos (buffer, proximidade, adjacências) que podem trabalhar no domínio espacial e a segmentação está associada ao

particionamento da região em trechos significativos de interesse, com critérios definidos pelo usuário, como área de influência (50 metros antes e 50 metros depois de uma curva, por exemplo), uso do solo, características geométricas da via, critérios socioeconômicos. Esse método será comparado aos métodos do PARE e HSM para avaliar sua eficácia e será discutido no capítulo 4.

3 PREVISÃO DE ACIDENTES NA SEGURANÇA VIÁRIA

Os modelos de previsão de acidentes surgem como ferramentas estatísticas capazes de relacionar a quantidade de acidentes de trânsito aos fatores contribuintes de acidentes de trânsito permitindo a análise do potencial de geração de acidentes de diferentes projetos e configurações viárias. É possível apontar como uma das principais justificativas para a modelagem da ocorrência de acidentes de trânsito, a possibilidade de atuar preventivamente na promoção da segurança.

Em um primeiro momento, as análises descritivas da acidentalidade eram usadas na tentativa de refletir os padrões de segurança em um ambiente viário. Este tipo de análise trabalha de forma simplificada os dados de acidentes já ocorridos e os apresenta em distintas formas, como a frequência de acidentes, taxas de acidentes, entre outros, não incluindo um enquadramento estatístico preditivo das ocorrências. Contudo, a utilização direta destes índices na mensuração da segurança pressupõe incorretamente uma relação linear entre a frequência de acidentes e as medidas de exposição (volume de tráfego, condições climáticas, geometria da via, etc). Porém, embora muitas vezes haja uma relação forte entre a frequência de acidentes e as diferentes medidas de exposição, essas relações são geralmente não-lineares ([AASHTO, 2015](#)).

Com relação à natureza dos acidentes viários, tais eventos têm um forte componente aleatório. Dessa forma, devido à aleatoriedade na ocorrência de acidentes, as frequências de curto prazo por si só não são um estimador confiável da acidentalidade para um longo período. A análise da segurança a partir de relações das análises antes-depois simplificadas correm um grande risco de incorrer em imprecisões importantes, podendo haver uma superestimação do efeito de uma dada intervenção em relação à redução de acidentes ([ELVIK, 2008](#)).

De acordo com [Davis \(2004\)](#), um pressuposto dos modelos preditivos é que os acidentes são individualmente imprevisíveis, porém, o conjunto de dados de acidentes ocorridos em um segmento viário pode produzir padrões estatísticos previsíveis. O Manual HSM aborda esta questão e reforça que, a partir de esforços no campo da segurança viária, ganha força as análises preditivas quantitativas que, a partir de técnicas estatísticas adequadas, estimam o número esperado de acidentes em diferentes momentos de um empreendimento viário (condições existentes, condições futuras e alternativas de projetos) ([AASHTO, 2015](#)).

3.1 VARIÁVEIS ENVOLVIDAS NA MODELAGEM

A ocorrência de acidentes rodoviários e suas consequências estão associada a diversos fatores, dos quais podemos citar fatores individuais e fatores externos ou ambientais. No nível individual parecem ser mais comuns as variáveis associadas aos condutores (faixa etária, gênero, tempo de habilitação, condição socioeconômica, etc) e aos fatores externos, hora do dia, condições climáticas, características das estradas e características de veículos.

Os trabalhos realizados sobre os fatores que influenciam a ocorrência de acidentes no nível das suas consequências, tem a variável resposta qualitativa ou categórica. As consequências de acidentes rodoviários podem ser a nível econômico, físico e psicológico. Em relação ao nível físico, quando não resulta em morte, as consequências dos acidentes podem levar a vários níveis de incapacidade, desde baixas limitações até incapacidade permanente. Dentre as variáveis envolvidas destacam-se o tipo de veículo, limite de velocidade nas estradas e hora do dia ([SHANKAR, MILTON E MANNERING, 1997](#); [ELURU & BHAT, 2007](#); [KONG E YANG, 2010](#)), a idade e o sexo do condutor ([VALENT et al.,2002](#)). Os resultados desses estudos demonstraram que a chance de acidentes fatais aumenta com a velocidade, a idade dos condutores e os homens tem maior chance de sofrer ferimentos fatais em relação às mulheres. Também indicaram que há maior probabilidade de acidentes fatais no horário das 18 horas à meia-noite e principalmente nas primeiras horas de manhã.

Segundo o [Transportation Research Board \(2015\)](#), a escolha da velocidade por um condutor define um risco que tem efeito tanto na probabilidade de ocorrer um acidente, quanto na severidade deste, caso ocorra. No entanto, para este estudo a variável velocidade real não será considerada, uma vez que não está disponível nas bases de dados de acidentes, sendo possível apenas a consideração da velocidade de projeto.

Para os trabalhos realizados sobre a ocorrência de acidentes no nível das frequências, a variável resposta é quantitativa. Em alguns modelos, principalmente para vias rurais, quando os fatores de risco e os acidentes de trânsito possuem um elevado grau de complexidade, a variável volume de tráfego contribui com a maior parcela de explicação na variabilidade dos acidentes ([GREIBE, 2003](#); [LORD, MANAR e VIZIOLI, 2005](#)). Outros estudos também apontaram como mais importantes as variáveis: largura das vias, quilometragem percorrida pelos veículos e densidade de interseções nas zonas de tráfego. O estudo ressaltou ainda a correlação/dependência

espacial da maioria das variáveis. Ela pode ser entendida como a tendência a que o valor de uma variável associada a uma determinada localização assemelhe-se mais ao valor de suas amostras vizinhas do que ao restante das localizações do conjunto amostral. Preconiza a utilização de bancos de dados georreferenciados e que, o efeito da dependência/correlação espacial entre variáveis pode influenciar significativamente a qualidade dos modelos ([HADAYEGHI, SHALABY e PERSAUD, 2003](#); [AGUERO-VALVERDE et al., 2006](#)).

Na revisão dos estudos foi encontrada uma grande variedade de variáveis diferentes incluídas nos modelos apresentados. Em muitos casos, diferentes medidas foram usadas para as mesmas variáveis, complicando os esforços para comparar os valores dos coeficientes. Em pesquisas anteriores, é evidente que as características geométricas da via influenciam tanto no número quanto na severidade dos acidentes, bem como ressaltam a necessidade de considerar a natureza espacial desses eventos.

Dentre as características geométricas, a curva horizontal é a principal área de foco para agências de transporte para melhorar a segurança da sua rede rodoviária, devido principalmente à severidade dos acidentes em curvas. A análise da segurança de uma curva depende, principalmente, de fatores geométricos da curva, mas a localização de uma curva em relação a outras curvas também deve ser analisada, pois pode influenciar a segurança ([GLENNON, 1987](#)). A ligação entre as características geométricas da curva individual e seu desempenho de segurança foi estabelecida por [Zegeer et al. \(1991\)](#) e [Strathman et al. \(2001\)](#) e revisada pela [AASHTO \(2015\)](#).

Um número de estudos tem focado na relação entre as características da curva horizontal e o desempenho de segurança da curva, incluindo atributos de projeto ([ZEGEER et al., 1991](#); [STRATHMAN et al., 2001](#)), como sinalização e marcações ([RETTING e FARMER, 1998](#); [ECCLES e HUMMER, 2000](#); [HAMMOND e WEGMANN, 2001](#); [CHRYSLER et al., 2005](#); [LYLES e TAYLOR, 2006](#); [CHARLTON, 2007](#)). Outros estudos criaram diretrizes para a sinalização e marcação de curvas horizontais ([NIELSEN et al., 1999](#); [HERRSTEDT e GREIBE, 2001](#); [BONNESON, 2007](#)) e estratégias para melhorar a segurança de curvas ([TORBIC et al., 2004](#); [MCGEE e HANSCOM, 2006](#)).

Um dos estudos mais completos envolvendo curvas foi apresentado por [Glennon et al. \(1985\)](#) e [Glennon \(1987\)](#). Eles estudaram 3304 segmentos curvos e 253 segmentos tangentes em estradas rurais de duas pistas na Flórida, Illinois, Ohio, e no Texas. Os pesquisadores

examinaram uma via de extensão de 1 km e segmentos que incluíam curvas horizontais (com comprimento médio de 270m) e os comprimentos tangentes adjacentes que poderiam ser influenciados pela curva. Foram estudadas apenas curvas isoladas definindo um comprimento tangente mínimo entre as curvas de 200m. A análise descobriu que as curvas apresentavam taxas de acidentes três vezes maiores que os segmentos em tangentes. Eles identificaram quatro categorias de elementos relativos à segurança das curvas horizontais: alinhamento horizontal, seção transversal, alinhamento vertical e outros. Os elementos de alinhamento horizontal descrevem as características longitudinais das curvas horizontais, como raio, comprimento e distância de visibilidade. Os elementos da seção transversal definem as características de uma pista que são perpendiculares à direção do percurso, como a largura da pista, largura dos acostamentos e inclinação transversal da via. Os elementos do alinhamento vertical especificam a relação entre as curvas horizontais e elementos verticais (greides e curvas). Entre os elementos restantes, a distância até as curvas do trecho adjacente e interseções foram os mais relevantes como considerações espaciais para as curvas horizontais. Embora considerações espaciais tenham sido identificadas como relevantes para a segurança da curva horizontal, nenhuma pesquisa foi conduzida para quantificar o efeito da distância das curvas próximas ao risco de acidentes.

Os trechos de tangente de rodovias parecem ter menos acidentes e as estradas com mais curvas aumentam a probabilidade de acidentes ([GLENNON, 1987](#)). As curvas tendem a ser mais perigosas quando seguidas de uma longa seção tangente ([TERHUNE e PARKER, 1986](#); [DATTA et al., 1983](#); [ZEGER et al., 1992](#); [MILTON e MANNERING, 1998](#); [LAMM et al., 2002](#); [ARAM, 2010](#)). Esses estudos foram reforçados por [Noland \(2013\)](#) que concluiu que estradas com mais curvas também podem levar a velocidades reduzidas se forem percebidas como mais arriscadas, no entanto, foram opostos aos resultados encontrados por [Malyshkina e Mannering, \(2010\)](#), [Labi, \(2011\)](#) e [Bauer e Harwood, \(2014\)](#), isto é, curvas mais amplas aumentam o risco.

Alguns estudos concluíram que as curvas de transição são perigosas devido a subestimação do condutor da gravidade da curvatura horizontal ([Stewart e Chudworthy, 1990](#); [Brenac e Annex, 1994](#)) e tem, em média, 73% a mais de acidentes com ferimentos que as demais ([STEWART, 1994](#)).

Embora existam vários estudos indicando que vários elementos geométricos e tráfego influenciam significativamente o impacto da ocorrência de acidentes e que as taxas de acidentes e a gravidade dos mesmos aumentam rapidamente em curvas horizontais, eles não são conclusivos

em relação a escolha das variáveis. Vários modelos desenvolvidos no passado delinearam acidentes nas curvas horizontais com base em algumas variáveis que incluem o volume de tráfego, comprimento da curva, e grau de curvatura. Nesses estudos foram identificadas, na medida em que os valores desses parâmetros aumentam, a influência do ângulo central no aumento ([ARAM, 2010](#); [DONG et al., 2015](#)), do desenvolvimento no aumento ([ARAM, 2010](#); [SCHNEIDER, SAVOLAINEN e MOORE, 2010](#)), do raio na redução ([SCHNEIDER, SAVOLAINEN e MOORE, 2010](#); [MA e LI, 2010](#); [HOSSEINPOUR et al., 2016](#); [CRUZ, ECHAVEGUREN e GONZÁLEZ, 2017](#)) e da superelevação no aumento da frequência de acidentes ([ARAM, 2010](#)).

Outras variáveis comumente incluídas nos modelos de previsão de acidentes são a largura da faixa, largura do acostamento e o número de faixas. Supõe-se que acostamentos maiores diminuam a ocorrência de acidentes em rodovias pista simples ([Council e Stewart, 1999](#); [Abdel-Aty e Radwan, 2000](#); [Malyshkina e Mannering, 2010](#)), no entanto, tem uma menor influência para acidentes fatais nos modelos estimados ([Labi, 2011](#); [Cousil e Stewart, 1999](#)). Segundo [Abdel-Aty e Radwan \(2000\)](#) e [Labi \(2011\)](#) as pistas mais largas reduzem as taxas de acidentes. Esses resultados corroboram com a teoria de que o aumento da largura das faixas e o número de faixas em uma estrada aumentam a segurança, contudo, uma análise realizada em Hillsborough na Flórida, que incluiu uma variável para o número de pistas, descobriu que mais pistas aumentam o risco de acidentes dependendo do método de estimativa ([ZENG e HUANG, 2014](#)). Esse estudo foi corroborado por [Noland \(2003\)](#) e [Dumbaugh e Era \(2009\)](#), num trabalho empírico, usando variáveis espaciais na análise.

Quase todos os modelos utilizaram o volume de tráfego em cada segmento, com base em contagens estimadas de VDMA. Transformações Logarítmicas de VDMA são frequentemente incluídas nos modelos. Em um nível fundamental a expectativa de mais tráfego pode levar a mais acidentes, embora o relacionamento possa variar e como isso afeta a gravidade. [Zhou e Sisiopiku \(1997\)](#) afirmaram que estradas altamente congestionadas podem sofrer mais acidentes, no entanto, acidentes menos graves porque os veículos estão se movendo em velocidades mais lentas.

A variável greide também é usada em algumas pesquisas. Greides íngremes são geralmente associados a taxas de acidentes mais altas. [Hedman \(1990\)](#) citando uma pesquisa sueca, afirmou que os greides de 2,5% e 4% de inclinação aumentam os acidentes em 10% e

20%, respectivamente, em comparação com estradas quase horizontais. [Glennon et al. \(1987\)](#) após examinar os resultados de vários estudos nos Estados Unidos, concluiu que as seções de greide íngremes tem maiores taxas de acidentes do que as seções planas, greides íngremes tem maiores taxas de acidentes do que greides suaves e greides descendentes tem taxas de acidentes mais elevadas do que os greides ascendentes.

Também foram identificados autores que buscaram analisar os diferentes números de faixas ou tipos de veículos, e conjuntamente, buscaram determinar a influência dos parâmetros geométricos na frequência de acidentes. Esses estudos indicam que, na medida em que os valores desses parâmetros aumentam, há influência do ângulo central no aumento ([RENGARASU et al., 2009](#); [GARNAIK, 2014](#)), da declividade no aumento ([AGBELIE, 2016](#); [SHANKAR, MANNERING e WOODROW, 1995](#)), do raio na redução ([GARNAIK, 2014](#); [IYINAM, IYINAM e ERGUN, 1997](#)) e da superelevação no aumento da frequência de acidentes ([GARNAIK, 2014](#)). Considerando as mesmas variáveis e a influência dos parâmetros geométricos na severidade de acidentes, os estudos indicam, na medida em que os valores desses parâmetros aumentam, há influência da declividade no aumento ([ANASTASOPOULOS et al., 2012](#); [CHIKKAKRISHNA, PARIDA e JAIN, 2017](#)), do raio na redução ([ANASTASOPOULOS et al., 2012](#)) e da superelevação na redução da severidade de acidentes ([SAMEEN e PRADHAN, 2016](#)).

Todos esses estudos consideraram diferentes variáveis, mas, nenhuma variável espacial que poderia fornecer um melhor contexto entre a frequência de acidentes e o local em que ocorreu o acidente, foi incluída. As principais iniciativas desse tipo de modelagem indicam, entretanto, problemas relacionados à etapa de escolha das variáveis explicativas e desafios para a estimação e incorporação do efeito da dependência espacial dos acidentes de trânsito no processo ([HADAYEGHI, SHALABY e PERSAUD, 2007](#); [WASHINGTON et al., 2006](#)).

A inclusão de relações espaciais em uma análise de segurança pode ser uma consideração importante para uma abordagem mais precisa e abrangente da análise do desempenho real de segurança. A relação espacial de uma curva relativa a curvas adjacentes, incluindo a distância até as curvas adjacentes, a direção de giro das curvas adjacentes, o raio da curva adjacente e o comprimento das curvas adjacentes, bem como a curvatura vertical também são características importantes que podem influenciar a segurança de uma curva horizontal ou de uma série de curvas ([FINDLEY, 2012](#)).

[Aram \(2010\)](#) considerou elementos espaciais como influentes na segurança da curva baseada na pesquisa de [Glennon \(1987\)](#). Seu estudo de uma curva individual focou no raio, grau de curva, ângulo de deflexão, comprimento da curva, largura da faixa, superlargura, sinalização, marcações, condições de pavimento e velocidades de operação. Ele descobriu que as variáveis mais significativas para acidentes em curvas horizontais foram o grau da curva, comprimento da curva, superelevação, comprimento da transição em espiral, largura dos acostamentos e volume de tráfego. O autor concluiu que as curvas horizontais estão entre as mais perigosas seções de uma estrada. A taxa de colisão em uma curva horizontal é 1.5 - 4 vezes maior do que em uma seção reta similar, tornando-se aparente em raios inferiores a 915m e mais significativo em raios abaixo de 180 m. Os estudos de [Guo et al. \(2010\)](#) e [Findley \(2012\)](#) corroboram com esses resultados. Ainda segundo os autores, a exclusão dos fatores espaciais levaria a inferência tendenciosa no modelo e conclusões incorretas. [Findley \(2012\)](#) também destaca que uma consideração importante para qualquer acidente é a determinação de sua localização. Uma dificuldade importante adicional para acidentes em curvas é como identificar se a colisão ocorreu ou não em uma curva.

Com base nas variáveis encontradas na literatura e a influência das mesmas na frequência de acidentes, foram selecionadas *a priori*, para esse estudo, as seguintes variáveis: curvatura horizontal (raio, grau de curva, ângulo de deflexão, comprimento da curva), largura de faixa, largura e tipo do acostamento, volume de tráfego e greide. As variáveis qualitativas, chamadas espaciais, uso do solo (rural ou urbano), perfil da rodovia (plano, ondulado ou montanhoso), traçado (reta ou plano), dia da semana, condições climáticas, tipo de acidentes, dentre outras, serão utilizadas para auxiliar na seleção de trechos homogêneos.

A classificação das faixas etárias será com base no estudo de [Mendonça, Silva e Castro \(2017\)](#), com três classes: 18 a 30 anos, entre 30 e 50 anos e maiores de 50 anos. Para a classificação dos dias da semana e horários será baseada no estudo de [Souza e Silva \(2017\)](#), que classificam os dias de segunda a quarta como “dias de semana” e de quinta à domingo como “final de semana”. Os autores estudaram as atividades econômicas e os acidentes de trânsito na região de Passos (MG) e identificaram que as atividades noturnas, os volumes de tráfego e o número de acidentes aumentam a partir da quinta-feira e diminuem na segunda.

3.2 MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES

Uma das principais justificativas para o uso de modelos preditivos de acidentes viários é a possibilidade de atuar preventivamente na promoção da segurança. Os modelos preditivos permitem a estimativa do desempenho de segurança em projetos viários ainda na fase de concepção e planejamento, antes da sua implantação, subsidiando a análise de diferentes opções de projeto e privilegiando alternativas mais seguras ([BOFFO, 2011](#)). Estas estimativas de acidentes são dedicadas à avaliação do potencial de segurança de elementos viários, podendo ser aplicadas para avaliar a eficácia de medidas corretivas na melhoria da segurança e para selecionar os locais de rodovias com maior potencial para acidentes e que poderiam se beneficiar de medidas corretivas ([MOUNTAIN et al. 1996](#)).

O desenvolvimento de modelos preditivos não é um trabalho trivial e este tem sido objeto de estudo de pesquisadores da área de transportes em todo o mundo. Há o desafio de produzir métodos viáveis e práticos, que não sejam tão complexos para não limitar a sua aplicação por profissionais na rotina de trabalho das agências de transportes, mas que ainda assim reflitam o desempenho de segurança de uma via de forma satisfatória.

Existe na literatura um grande número de trabalhos sobre a previsão da frequência de acidentes viários, usando diferentes abordagens estatísticas para o desenvolvimento dos modelos preditivos. Dentre os principais modelos estatísticos já utilizados na modelagem de acidentes, os mais adotados pelos pesquisadores são os Modelos de Regressão Linear Simples, Múltipla e os Modelos Lineares Generalizados (MGL). Esses modelos também são classificados como não espaciais, visto que não consideram os atributos dos dados geográficos e por não empregar nenhuma variável que possa caracterizar algum tipo de relação espacial.

Os MLG representam a união de modelos lineares e não-lineares com uma distribuição da família exponencial, que é formada pela distribuição normal, Poisson, binomial, gama, normal inversa e incluem modelos lineares tradicionais (erros com distribuição normal), bem como modelos logísticos ([SCHMIDT, 2003](#)).

O modelo de Poisson ou Modelo Log-Linear de Poisson, faz parte da família dos MGL e serviu como ponto de partida para a análise de frequência de acidentes por várias décadas. As ocorrências devem ser uniformemente distribuídas sobre o intervalo em uso. Como os dados de frequência de acidentes são números inteiros não negativos e não normalmente distribuídas, a

aplicação da Regressão de Poisson (que assume uma variável dependente contínua) não é apropriado. A distribuição de Poisson é conhecida por assumir que média e variância são iguais a uma taxa λ . Todavia, em casos reais, a variância dos dados pode ser menor ou maior que a média, causando no modelo os problemas de subdispersão ou superdispersão, podendo ser afetados e produzir resultados tendenciosos em amostras pequenas ([LORD e MANNERING, 2010](#); [JOSHUA e GARBER, 1990](#); [MIAOU e LUM, 1993](#); [MOUNTAIN et al., 1996](#); [ABDEL-ATY e RADWAN, 2000](#)).

Dessa forma, em caso de excesso de dispersão, a regressão binomial negativa (ou Poisson-gama), que é uma extensão do modelo de Poisson, é uma abordagem mais adequada para a modelagem da frequência de acidentes ([JOSHUA e GARBER, 1990](#); [MIAOU e LUM, 1993](#); [MOUNTAIN et al., 1996](#); [VOGT e BARED, 1998](#); [ABDEL-ATY e RADWAN, 2000](#); [HAUER, 2004](#)). O modelo binomial negativo/Poisson-gama assume que o parâmetro Poisson segue uma distribuição de probabilidade gama. O modelo resulta em uma equação matemática relativamente simples para manipular a relação entre a média e variância das estruturas.

O modelo de Equações de Estimativa Generalizada (EEG), baseia-se na metodologia dos MGL e foi aplicado à análise de segurança nas rodovias por [Lord e Persaud \(2000\)](#) para modelar dados de acidentes com medições repetidas ao longo de vários períodos de tempo, o que cria um problema de correlação serial ([LIANG E ZEGGER, 1986](#)).

Os EEG apresentam, como uma das principais características, a capacidade de unificar diversas técnicas estatísticas que, geralmente, são estudadas separadamente. São uma extensão dos modelos de regressão simples e múltipla que possibilitam utilizar outras distribuições para os erros e uma função de ligação relacionando a média da variável resposta à combinação linear das variáveis explicativas. Este tipo de modelagem é utilizado, principalmente, quando um ou mais pressupostos dos modelos de regressão linear clássicos não são satisfeitos. Além disso, admite-se que as variáveis respostas possuam distribuição diferente da Normal e que sua média se expresse como diferentes funções de covariáveis e de seus respectivos coeficientes.

O modelo de regressão apresenta um modelo matemático, ou seja, uma equação que associa a variável dependente com as variáveis independentes. Desta forma, os MLG são utilizados quando as observações têm uma única variável aleatória Y_i considerada como variável resposta, cujo comportamento esteja associado a um conjunto de variáveis explicativas $X_1, \dots, X_K$. Usar essa análise requer especificar: a) função de ligação, b) distribuição da variável dependente

e c) a estrutura de correlação. Os parâmetros de regressão (β 's) são estimados pelo estimador de máxima verossimilhança. Os cálculos das variâncias são realizados usando uma função de ligação, que transforma a variável dependente em uma equação de estimativas de parâmetros na forma de um modelo aditivo:

$$g(\mu_i) = n_i = X'_i \beta + \varepsilon \quad (12)$$

Em que:

X'_i =matriz de covariáveis

β =vetor de parâmetros desconhecidos a serem estimados

ε = erro de especificação

Os resultados a partir dessas equações dão início a um processo iterativo usando procedimentos de mínimos quadrados que envolvem a minimização extensa da alteração do parâmetro estimado a partir de um modelo de regressão perfeitamente ajustado. À medida que o tamanho destas alterações tende a zero as estimativas dos parâmetros (β 's e erros padrão) estabilizam. As especificações corretas tornam as estimativas mais eficientes.

Normalmente, a estrutura de correlação no processo de estimativa tem uma influência mínima na saída da modelagem quando os modelos de contagem dos dados são usados com um conjunto de dados completos (poucas ou nenhuma variável omitida); no entanto, a seleção do tipo de correlação pode ser crítico quando o banco de dados omitiu variáveis ([LORD, WASHINGTON e IVAN et al., 2005](#); [HALEKOH, HOJSGAARD e YAN, 2006](#); [LORD e MAHLAWAT, 2009](#)).

Pesquisas indicam que os acidentes, assim como outros fenômenos espaciais, são geograficamente dependentes e incluem os modelos espaciais na predição de acidentes. Para encontrar modelos que possam eliminar ou ao menos atenuar este efeito, deve-se buscar aqueles que, em um determinado nível de agregação, ou seja, desconsiderando por ora a existência os erros de medida, contemplem a questão da interação espacial e da má especificação do modelo. Nesses casos, podem ser utilizados os modelos geoestatísticos. São modelos que adicionam ao modelo de regressão simples ou múltipla a consideração de que uma variável de uma

determinada localidade influencia a mesma (ou outra) característica em uma localidade geograficamente próxima ([HOLMES, 2010](#)).

Para o desenvolvimento dos MPA é necessária uma abrangente série histórica de dados confiáveis relativos à frequência de acidentes e às características geométricas e operacionais dos locais onde ocorreram tais acidentes. Esses dados, quando disponíveis, tendem a ser coletados e armazenados por diferentes setores, o que compromete sua compatibilização. Alguns dos problemas recorrentes relativos à obtenção de dados necessários para o desenvolvimento de MPA referem-se à continuidade do período de coleta dos dados e confiabilidade dos registros.

No Brasil, o desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes ainda não está bem instituído. Este fato pode ser atribuído, em parte, à carência na disponibilidade e na qualidade da informação de acidentes viários. ([BARBOSA et al., 2013](#)). Foram localizados alguns trabalhos recentes de métodos preditivos que buscam representar o potencial de acidentes em vias brasileiras: [Cardoso \(2006\)](#) apresentou modelos de previsão de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas da cidade de Porto Alegre, RS; [Costa e Barbosa \(2011\)](#) desenvolveram modelos para interseções na cidade de Belo Horizonte, MG; [Cunto et al., \(2012\)](#) desenvolveram um modelo de previsão de acidentes para interseções semaforizadas na cidade de Fortaleza, CE; e [Claude \(2012\)](#) apresentou modelos preditivos de acidentes para interseções na cidade de Brasília, DF.

Diante da dificuldade em desenvolver modelos preditivos, é improvável que as agências de transportes sejam capazes de desenvolver seus próprios modelos, específicos para cada configuração viária e para cada local. Em vez disso, é desejável que um modelo desenvolvido em um local possa ser utilizado em outra localidade. Pequenos países nem sempre podem realizar pesquisas nacionais sobre cada tópico, mas pode depender de estudos feitos em outros países. Torna-se então importante avaliar se o conhecimento pode ser transferido internacionalmente. A calibração de MPA é menos exigente quanto à disponibilidade de dados tornando-se uma alternativa viável quando estes não estiverem disponíveis em quantidade e/ou qualidade desejada.

O HSM ([AASHTO, 2015](#)) disponibiliza um procedimento de calibração e oferece modelos base, desenvolvidos para ambientes norte-americanos. No entanto, esses modelos refletem as características locais dos seus dados de origem, o que traz um nível de questionamento em relação à validade desses modelos para outras realidades, principalmente para o Brasil. Diferenças nos sistemas de informação de acidentes, legislação local, comportamento do

motorista e questões relativas ao ambiente entre jurisdições podem, entretanto, prejudicar o uso universal do método de previsão do HSM ([SUN e HAO, 2006](#); [XIE et al., 2011](#), [SACCHI, PERSAUD e BASSANI, 2012](#)).

Algumas cidades brasileiras já despenderam esforços no desenvolvimento de MPA. Entre elas tem-se a cidade de Fortaleza ([CUNTO et al., 2012](#)), Brasília ([CLAUDE, 2012](#)) e Belo Horizonte ([COSTA e BARBOSA, 2011](#)). Esses esforços resultaram na proposição de modelos específicos para as características locais dessas cidades. Naturalmente, esses modelos tendem a apresentar melhores condições de serem calibrados para outras cidades brasileiras do que os propostos pelo HSM, desenvolvidos com base em dados norte-americanos.

Em uma aplicação do método preditivo do HSM em trechos homogêneos de pista simples no estado de São Paulo, [Silva \(2011\)](#) encontrou um Fator de Calibração de 3,73, ou seja, o histórico de acidentes se mostrou quase 4 vezes superior ao esperado pelo modelo sem a calibração para o número para as rodovias analisadas. O estudo incluiu 3 diferentes rodovias e extensão de pouco mais de 80km, divididos em 79 trechos homogêneos. Além do procedimento de calibração, foi ainda aplicado o método Empírico de Bayes (EB). A autora destaca que o método sem calibração não reflete a realidade brasileira das rodovias estudadas.

A grande maioria dos estudos relacionados ao uso do HSM em diferentes jurisdições tem se concentrado em estimar o coeficiente C_x para diferentes tipos de entidades. Os resultados indicam considerável discrepância entre os coeficientes seja em comparações dentro ou fora dos EUA. [Sawalha e Sayed \(2006\)](#) questionam o processo de calibração jurisdicional dos modelos sem uma avaliação mais detalhada da compatibilidade entre a dispersão observada nos dados do modelo original e os dados da amostra a ser calibrada. Para esses autores, o parâmetro de forma k (também chamado de parâmetro de dispersão ϕ) da distribuição binomial negativa também deve ser recalibrado, de forma a representar mais precisamente a dispersão dos dados da nova amostra.

[Souza et al. \(2017\)](#), avaliou a adequação do método preditivo apresentado pelo HSM para os trechos rurais, com seção em pista dupla, às condições apresentadas na rodovia BR-101-PE propondo um fator de calibração apropriado para a região. Para tanto analisou os dados de acidentes fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal, no período entre 2010 e 2015 e os projetos geométricos da via e aplicou o modelo proposto para os 40 trechos homogêneos entre os km 104,50 e km 186,74 da BR 101-PE. Calculou o fator de calibração comparando os acidentes efetivamente ocorridos com os previstos pelo modelo do HSM e corrigidos pelo método empírico

de Bayes. Estudos iniciais encontraram um fator de calibração de 1,1. Não foi possível através dos resultados dos estudos, confirmar que o modelo preditivo do HSM calibrado permite prever o número de acidentes em rodovias de pista dupla no Brasil e apontam para estudos mais aprofundados para avaliar a utilização do método.

[Noland \(2013\)](#) relata que há variações nos modelos baseados em segmentos usados para estimar fatores de modificação de acidentes. Parte disso é devido a diferentes definições de variáveis e inclusão de diferentes conjuntos de variáveis, mas alguma variabilidade é provavelmente devido a estes estudos em lugares diferentes e omitindo os aspectos socioeconômicos e o contexto espacial dessas áreas.

[Liu, Khattak e Wali \(2017\)](#) num estudo recente usando dados do estado da Virgínia encontraram diferenças nos fatores de modificação de acidentes local, argumentando que isto foi em grande parte devido à variação espacial, no entanto, este estudo não incluiu variáveis que pudessem controlar a variação localizada encontrada em suas estimativas.

No geral, os modelos propostos diferem entre si em diversos aspectos. Entre as principais diferenças estão a distribuição adotada para representar a ocorrência de acidentes, a escolha das variáveis do modelo, a escolha da forma funcional do modelo, escolha do comprimento e dos critérios de delimitação dos segmentos da rodovia ([NODARI, 2003](#)).

Normalmente, os modelos de predição de acidentes buscam encontrar as relações existentes entre as características físicas presentes nos segmentos de rodovia e os registros de acidentes. Nessa situação, a definição dos segmentos merece atenção especial, pois, pode influenciar significativamente os resultados dos modelos. A adoção de um conjunto de segmentos longos pode prejudicar o poder de explicação do modelo, na medida que a amostra (o conjunto de segmentos) se torna menor ([MIAOU e LUM, 1993](#)). A adoção de segmentos longos também aumenta a chance de incluir, em um mesmo segmento, locais com elevado número de acidentes e locais com baixo número de acidentes, o que não é desejável na modelagem. O manual americano recomenda uma amostra de 30 a 50 segmentos homogêneos com um total de 100 acidentes por ano para a calibração dos modelos preditivos. Essas recomendações precisam ser revistas, devido ao fato de que, diferentes tipos de rodovias, tem diferentes tipos de homogeneidade e que o tamanho mínimo da amostra é uma função da homogeneidade da população ([ALLURI, SAHA e GAN, 2016](#); [SHIRAZI, LORD e GEEDIPALLY, 2016](#)).

O modelo de previsão de acidentes do HSM leva em consideração que as características geométricas e de tráfego são independentes entre si, ignorando as potenciais interações. Os efeitos de outros fatores são considerados indiretamente mediante os fatores de calibração. O valor constante de um fator de calibração utilizado em jurisdições com características diferentes, pode causar a superestimação dos acidentes ([PERSAUD, RETTING e LYON, 2000](#); [SACCHI, PERSAUD e BASSANI, 2012](#)).

Os estudos da transferibilidade do método do HSM não são conclusivos. Em algumas regiões os resultados obtidos se apresentaram satisfatórios enquanto que em outras regiões, insatisfatórios. As diferenças constatadas entre as regiões já indicam a necessidade de um estudo mais aprofundado e também em relação a validação dos componentes que dependem da melhoria na qualidade dos bancos de dados e na verificação das técnicas utilizando diferentes entidades e tipos de acidentes ([CUNTO, 2014](#); [CUNTO et al., 2012](#); [COSTA e BARBOSA, 2011](#)).

Considerando a literatura, o método do HSM não deve ser desconsiderado, no entanto, é necessário avaliar a transferibilidade do método para rodovias da região Nordeste, estado de Pernambuco. No entanto, mesmo que o método do HSM pudesse ser utilizado, a quantidade de variáveis (12) exigidas para o modelo está fora da realidade brasileira. Portanto, serão desenvolvidos estudos específicos para se obter equações de previsão de acidentes para a região e reproduzir com maior realidade as especificidades do local. O principal benefício encontrado no estudo será avaliar uma modelagem específica para a região com um nível razoável de precisão, requerendo menos variáveis para a análise e assim, diminuir os esforços na coleta de dados. O caráter espacial será incorporado indiretamente ao modelo proposto através da seleção dos segmentos homogêneos.

3.2.1 Modelos de previsão de acidentes baseados em características geométricas e de tráfego para rodovias rurais pista simples

Numerosos estudos examinaram o impacto das características da estrada na frequência de acidentes ([YE et al., 2013](#); [YU e ABDEL-ATY, 2013](#); [CASTRO, PALETI e BHAT, 2012](#); [PARK et al., 2012](#); [ZEGEER et al., 1991](#); [LEE e MANNERING, 2002](#); [ZEGEER e DEACON, 1987](#); [VOGT e BARED, 1998](#); [KARLAFTIS e GOLIAS, 2002](#); [SHANKAR, MANNERING e WROODROW, 1995](#)). A maioria dos estudos disponíveis desenvolveu acidentes modelos

distintos para diferentes tipos de acidentes, mas, como as características geométricas da estrada tem um impacto significativo no tipo de acidentes, esses modelos não refletem o efeito das características geométricas na segurança das estradas ([KRULL, KHATTAK e COUNCIL, 2000](#); [LEE e MANNERING, 2002](#); [YAMAMOTO e SHANKAR, 2004](#)).

Os dados de acidentes têm uma estrutura hierárquica que precisa ser tratada no procedimento de modelagem. Uma hierarquia implica que as observações de nível inferior são agrupadas nos níveis mais altos. Nos dados de acidentes, por exemplo, os ocupantes são agrupados em veículos, os veículos estão agrupados em segmentos de estrada onde ocorreu o acidente e os segmentos da estrada estão agrupados em regiões geográficas. Portanto, os acidentes ocorridos nos mesmos segmentos tendem a compartilhar resultados de gravidade semelhantes. A maioria dos estudos anteriores negligenciou essa estrutura hierárquica dos dados de acidentes e usou modelos Regressão múltipla, Poisson e Regressão Binomial Negativa ([HADI et al, 1995](#); [VOGT e BARED et al., 1998](#); [PERSAUD, RETTING e LYON, 2000](#); [CAFISO et al., 2010](#); [QUDDUS, CHAO e STEPHEN, 2010](#); [CHIOU, LAN e CHEN, 2010](#); [HALEEM, ABDEL-ATY e MACKIE, 2010](#); [MUSTAKIM e FUJITA, 2011](#); [ELURU, 2013](#); [BOODLAL et al., 2015](#)).

O problema nesses modelos é que eles assumem que os resíduos entre as observações são independentes. Desconsiderando essa estrutura hierárquica, quando presente, pode resultar em modelos com estimativas de parâmetros tendenciosas e erros padrão tendenciosos. Isso também pode explicar as várias inconsistências entre estudos anteriores sobre o efeito de segurança das características da estrada. Por exemplo, a atualização de recursos de estradas, como o aumento do número de faixas, alargamento de faixas e acostamentos são geralmente consideradas soluções viáveis para redução de fatalidades e lesões associadas a acidentes ([GROSS et al., 2010](#)). No entanto, vários estudos também relataram que algumas dessas atualizações podem aumentar a frequência e a gravidade do acidente ([IVAN et al., 1999](#); [KARLAFTIS e TARKO, 1998](#); [MILTON e MANNERING, 1998](#); [SAWALHA e SAYED, 2001](#); [SHANKAR, MANNERING e WOODROW, 1995](#)).

Quando se trabalha com dados longitudinais (amostras medidas mais de uma vez ao longo do tempo) ou agrupados essa suposição de independência entre as variáveis pode não fazer sentido. Para resolver esse problema existem diversas metodologias, e talvez a mais conhecida, no contexto não gaussiano, é a metodologia de Equações de Estimação Generalizada. O modelo

de EEG apresentou melhores resultados, no entanto, as curvas horizontais e a causa dos acidentes nesses trechos foram pouco estudadas ([COSTA et al., 2016](#)).

Para avaliar a influência da curva horizontal na frequência de acidentes, dez países apresentaram modelos específicos:

- a) Alemanha - Regressão Binomial Negativa ([DIETZE e WELLER, 2011](#));
- b) Austrália – Regressão Binomial Negativa ([JUREWICZ e PYTA, 2010](#));
- c) Canadá - Regressão Binomial Negativa ([PERSAUD, RETTING e LYON, 2000](#));
- d) Estados Unidos - Regressão Binomial Negativa (EB) ([AASHTO, 2010](#); [FINDLEY, 2012](#));
- e) Inglaterra – Modelo Log-Linear ([MCBEAN, 1982](#));
- f) Nova Zelândia – Poisson ([HAUER, 1999](#); [MATTHEWS e BARNES, 1988](#)),
- g) Suíça – não informado ([BRÜDE, LARSSON e THULIN, 1980](#));
- h) Noruega – Poisson ([SAKSHAUG, 1998](#)),
- i) Dinamarca – não informado ([RASMUSSEN, HERRSTEDT E HEMDORFF, 1992](#));
- j) Portugal - Modelo Log-Linear ([CARDOSO, 1997, 2005](#)).

Os modelos mostraram que a segurança das curvas horizontais depende não apenas do raio, mas também em outras características, como comprimento do segmento, presença de curvas adjacentes, presença de curvas de transição e superelevação. Existem diferenças nas formas das funções. Essas diferenças são mais evidentes para raios de curvas de 300 m ou menos. Funções que cobrem o intervalo entre 100 m e 1000 m, estão disponíveis para Canadá, Nova Zelândia, Noruega, Portugal e Estados Unidos. A relação entre o raio da curva horizontal e taxa relativa de acidentes varia significativamente entre esses países. Os valores da taxa relativa de acidentes para o Canadá e Nova Zelândia são razoavelmente próximos, mas divergem para curvas com um raio de 200 m ou menos.

De uma maneira geral os modelos mostram que as taxas de acidentes nas curvas horizontais são influenciadas além do raio, por outras características da curva, como a localização, o comprimento da curva e a distância para as curvas vizinhas. Esses estudos corroboram com a escolha das variáveis (*a priori*) consideradas para a modelagem. Os modelos desenvolvidos na Alemanha e nos Estados Unidos preveem um aumento maior nas taxas de

acidentes em curvas acentuadas do que os modelos desenvolvidos nos outros oito países citados neste estudo. Isso sugere que a transferibilidade internacional poderia ser problemática na medida em que as curvas mais acentuadas são consideradas. Para curvas com um raio de 600 m ou maiores, as funções desenvolvidas em diferentes países são mais consistentes.

Contudo, por uma série de pré-requisitos dos métodos tradicionais, muitas vezes é inviável que eles possam ser aplicados na prática. Uma das exigências, por exemplo, é a de que a variável em estudo seja quantitativa e tenha distribuição normal multivariada. Ou seja, a variável dependente em cada subgrupo, para cada momento, necessita ter distribuição normal, além de que as variâncias sejam iguais em todos os momentos e a correlação seja constante entre quaisquer dois momentos. Essa situação é praticamente impossível de ser alcançada na área de transportes, à medida que os acidentes são randômicos e aleatórios ao longo do tempo. Também é necessário que os dados sejam balanceados, ou seja, não exista nenhuma falha na coleta de dados de nenhum trecho. Isso quer dizer que, se em um estudo considerando cinco anos, mesmo que um trecho não tenha ocorrido um acidente apenas uma vez, todas as demais ocorrências desse trecho seriam desconsideradas da análise, a não ser que seja feita alguma forma de imputação dos dados faltantes. O fato dos intervalos de tempo entre as diferentes mensurações serem considerados constantes também é uma importante limitação, uma vez que a variável tempo é sempre considerada categórica nessa análise.

Partindo do pressuposto de que os resíduos do modelo são independentes e que os modelos tradicionais não são capazes de capturar correlação através das observações, o EEG será usado para modelar conjuntamente várias variáveis dependentes que estão inter-relacionadas entre si. Isso permite aumentar as suposições admitidas e examinar não somente as relações lineares entre as variáveis explicativas e a resposta. Esse tipo de modelo permite avaliar as potenciais interações entre as variáveis, capazes de modelar bancos de dados com estruturas longitudinais, espaciais ou multiníveis.

4 GEOPROCESSAMENTO APLICADO À SEGURANÇA VIÁRIA

Todos os dados adquiridos (textuais das estatísticas e provenientes do PRF) devem ser armazenados em uma estrutura de banco de dados que permita seu gerenciamento. Tal informação, quando espacializada é a geoinformação. A geoinformação é a união da informação com um atributo geográfico/espacial, ou seja, informação referenciada no espaço geográfico. Por referenciada entende-se a localização, posição ou orientação de feições, particularmente, ruas e rodovias, situadas em relação a um sistema de coordenadas. Estando o sistema de coordenadas fixo à terra, surge o conceito de georreferenciamento. Quanto mais eficiente for a organização de dados geoespaciais e mais aperfeiçoada for a metodologia de interpretação e os meios tecnológicos de processamento, mais confiável, produtiva e eficiente será a geoinformação gerada ([KARNAUKHOVA, 2003](#)). Para isso, existem os recursos de geoprocessamento.

A rede de transportes tem particularidades muito importantes como a conectividade, acessibilidade e a eficiência. Utilizados para descrever relações espaciais e elaborar modelos estatisticamente testáveis, os SIG são uma boa ferramenta para ser aplicada na rede de transportes, considerando que os sistemas de transportes são distribuídos sobre o espaço e os seus objetos se deslocam nesse espaço.

O primeiro conceito de SIG foi utilizado por [Burrough \(1986\)](#). O autor define SIG como um conjunto de ferramentas para recolher, armazenar, recuperar, transformar e visualizar as informações espaciais sobre os elementos que compõem a superfície terrestre, aplicando-se à análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem. Esta é uma perspectiva que realça claramente a importância dos SIG como ferramenta na análise de dados espaciais.

O fato de os SIG permitirem, de forma rápida e flexível, manusear, atualizar, alterar, ou acrescentar novas informações, ou trabalhar somente com parte dos dados, em função do problema em questão, faz com que seja uma opção útil, operando bem com a informação necessária para representar modelos de transportes; dados socioeconômicos e demográficos de população, dados sobre características de uso e ocupação do solo, dados que descrevem a oferta e demanda de transportes ([DRUCK et al., 2004](#)). Desta forma, com recursos de um SIG, é possível combinar dados geográficos e informação referente aos transportes, permitindo, por exemplo,

planejar uma viagem, identificando não apenas a origem e o destino segundo o melhor percurso, como também critérios específicos relacionados à segurança viária.

A ideia dessas novas ferramentas é superar as limitações das ferramentas tradicionais, que incluem a associação de volume, comprimento de segmentos e métodos de regressão. Para tal, as novas ferramentas fazem uso de banco de dados compreensivo, para prover informação suficiente e capturar características espaciais ao longo do tempo e interações com o sistema de tráfego.

A literatura existente mostra exemplos sobre coleção de dados e integração de métodos para aplicação em transportes, incluindo frameworks para Sistema de Informações Geográficas, sistema de banco de dados e ferramentas de visualização ([KIRAN, 2015](#)); [GOYAL, 2016](#)). No entanto, a maioria desses sistemas não possui banco de dados estruturados para extrair todas as vantagens das ferramentas existentes, incluindo análises de segurança, apresentando metodologias bastante limitadas. O processo de planejamento de transporte em nível estratégico tem estado bastante voltado para a modelagem de cenários e avaliação de alternativas levando em consideração medidas de desempenho relacionadas a fluidez do sistema. É necessária uma metodologia que permita o desenvolvimento de um sistema para processar, integrar, checar, carregar dados de outras aplicações com foco em análises de segurança viária.

Acredita-se que, pelo menos em parte, a discrepância entre as dimensões de fluidez e segurança viária no processo de planejamento pode estar associada aos desafios relacionados à coleta de informações e consolidação dos bancos de dados de acidentes de trânsito e em decorrência da natureza estocástica do fenômeno ([CUNTO et al., 2012](#); [CLAUDE et al., 2012](#)).

[Rocha \(2015\)](#) apresentou uma metodologia para a análise espacial de acidentes de trânsito georreferenciados na cidade do Rio de Janeiro, no contexto de variáveis agregadas em área e procurou contemplar as especificidades dos dados geográficos, tais como dependência espacial e heterogeneidade espacial. Foi composta por três grandes etapas: aquisição, compreensão da distribuição espacial e modelagem dos dados de acidentes. As variáveis mais explicativas foram a hierarquia ponderada das vias, a idade média da população e a densidade da população com o número de empregos. A variável dependente utilizada foi a média dos acidentes nos anos de 2008 a 2010. Os modelos testados foram os modelos de regressão múltipla, os modelos lineares generalizados com distribuição de Poisson e binomial negativa e os modelos espaciais *Spatial Autoregressive* (SAR) e *Conditional Autoregressive* (CAR). Todos estes modelos ainda foram testados em diferentes regimes espaciais gerados no programa de regionalização espacial

REDCAP. O modelo que apresentou os melhores resultados foi o modelo de regressão múltipla sem regimes espaciais.

[Schmitz \(2011\)](#) propôs um método baseado em SIG para a análise espacial de segmentos críticos de rodovia. O estudo foi realizado na rodovia federal BR-285, localizada no Sul do Brasil. O período da pesquisa abrangeu os anos de 2007 e 2008. Através dos registros dos boletins de ocorrência fornecidos pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF) os acidentes de trânsito foram distribuídos em uma malha rodoviária georreferenciada e dividida em segmentos rurais e urbanos cujas extensões variam de 1 a 1,9 km. Da extensão total da rodovia de 674.2 km totalizaram-se 641 segmentos, sendo 580 segmentos rurais e 61 segmentos urbanos. Os segmentos críticos em cada método, de acordo com os segmentos homogêneos de tráfego foram calculados com base no método numérico do [DENATRAN \(2002\)](#) e o cálculo dos índices de acidentes de trânsito, baseado no método estatístico adaptado por [Paro \(2009\)](#). Os resultados foram similares.

4.1 USO E APLICAÇÕES DE SIG EM SEGURANÇA VIÁRIA

Para dar embasamento teórico à pesquisa foi realizada a revisão de trabalhos técnicos envolvendo o tema, desta forma, reuniu-se um acervo, onde se destacam algumas das referências atuais estudadas, entre elas, a síntese das metodologias SIG implementadas e aplicadas no Brasil e em outros países.

[França e Goldner \(2006\)](#) afirmam que os acidentes de trânsito podem ser referenciados através de um par de coordenadas geográficas ou de um endereço previamente definido pelo órgão gestor, através de um método adequado. Devido a essa natureza espacial, os acidentes de trânsito podem ser analisados por um sistema que permite a ligação entre seus atributos (tipo de acidente, hora, local, vítimas, etc.) e dados espaciais (mapas).

[Erdogan et al. \(2008\)](#) ainda destacam que os relatórios de trânsito não são suficientes para a solução do problema, por isso a tecnologia SIG é usada como ferramenta na visualização, gerenciamento e análise espacial de acidentes, através dos pontos, trechos ou áreas críticas na rodovia, observando-se que devem ter uma base de dados confiáveis, pois as inconsistências podem prejudicar esta análise.

[Souza \(2011\)](#) realiza uma análise conceitual e identifica que os SIG dependem basicamente de dois elementos principais: a base cartográfica e a base de dados alfanuméricos e a manipulação (cruzamento, associações, expressões matemáticas, etc) tornando mais fácil a visualização dos resultados (expressos na forma de mapas, gráficos ou tabelas). O fato dos dados serem armazenados em formato digital facilita também a atualização dos mapas, bastando apenas que os dados sejam atualizados.

De uma maneira geral, as pesquisas envolvendo SIG em segurança viária tem sido voltadas para o mapeamento dos acidentes de trânsito ([Diesel, 2005](#); [Paixão e Komati, 2013](#); [Schwarz, 2013](#)); [Queiroz, Loureiro e Yamashita, 2018](#)), diagnóstico dos acidentes ([Queiroz, 2003](#); [França, 2008](#)), identificação dos pontos críticos ([Santos, 2006](#); [Santos e Raia Jr., 2006](#); [Reinhold, 2006](#); [Costa e Moraes, 2009](#); [Mendonça, Silva e Castro, 2017](#)) e incorporação de algumas variáveis espaciais aos trechos homogêneos como tipo da via, informações do condutor, condições climáticas, etc ([Soares e Silva, 2007](#); [Souza, 2011](#); [Gomes et al., 2015](#); [Rajadurai e Colins Johnny, 2015](#); [Souza e Silva, 2017](#); [Costa et al., 2017](#)). Embora existam modelos que considerem as condições da localização real do acidente ([Koike et al., 2000](#); [Yi e Lam, 2001](#); [Hirasawa e Asano, 2003](#); [Khan, Al Kathairi e Garib, 2014](#)) nenhum modelo até o momento investiga como a localização espacial e a combinação de características geométricas e espaciais para a divisão dos trechos homogêneos podem interferir na caracterização dos segmentos homogêneos e influenciar na taxa de acidentes.

As pesquisas envolvendo estimadores de Kernel também foram encontradas na literatura. [Souza et al. \(2008\)](#); [Pulugurtha, Krishnakumar e Nambisan \(2007\)](#) e [Harirforoush e Bellalite \(2016\)](#) utilizaram o Estimador de Kernel para mostrar que há diferença nos padrões espaciais de áreas de risco comparando a distribuição espacial dos óbitos por acidentes de trânsito e concluindo que a identificação do local de ocorrência do acidente é essencial. [Gomes et al. \(2016\)](#) realizaram uma análise comparativa entre modelos de previsão de acidentes globais não espaciais (MLG) e locais espaciais (Regressão de Poisson Geograficamente Ponderada - RPGP) para a estimação do DSV agregado ao nível de zonas de tráfego em Fortaleza/CE. Os modelos foram calibrados para a variável dependente “acidentes totais” e “acidentes com vítimas” e os resultados mostraram que os modelos RPGP apresentaram melhor desempenho que os MLG nas medidas de ajustes e na redução da autocorrelação espacial dos resíduos, sendo capazes de captar a heterogeneidade espacial da frequência dos acidentes.

Aproximando-se à realidade brasileira de dados poucos confiáveis ou até mesmo a falta de dados, [Erdogan et al. \(2008\)](#) desenvolveram um sistema transformando os dados textuais para uma forma tabular e, em seguida, os dados tabulares foram georreferenciados nas rodovias para superar as dificuldades na análise dos dados de acidentes na Turquia, visto que os relatórios de acidentes são preparados em formato textual. Os pontos críticos nas rodovias na fronteira administrativa de Afyonkarahisar foram explorados e determinados a partir dos métodos de análise de Densidade de Kernel. A importância deste estudo foi usar o SIG como um sistema de gerenciamento para análise de acidentes e determinação de pontos críticos na Turquia com métodos de análise estatística.

Não foram encontradas pesquisas que visem modelar os segmentos de curvas utilizando SIG para predição de acidentes, nem associando o contexto espacial aos segmentos homogêneos em modelos de Equações de Estimativas Generalizadas.

4.2 MODELAGEM DOS DADOS PARA ANÁLISES ESPACIAIS

Atualmente uma ferramenta multidisciplinar eficiente para a realização de análises técnicas e aplicações de métodos que permitam o levantamento de dados descritivos das características de rodovias na área de transportes é um SIG, pois o sistema proporciona a identificação, visualização e análise de áreas problemáticas através da relação do espaço com os atributos armazenados. O objetivo do presente estudo foi elaborar uma proposta metodológica baseada em estatísticas espaciais disponíveis no ambiente de SIG para segmentação de trechos homogêneos. O uso do SIG para segmentação de trechos homogêneos permite que sejam realizadas análises espaciais mais detalhadas. A análise espacial é um conjunto de metodologias que podem ser aplicadas a dados que são agregados por unidade geográfica (ou área), do tipo: bairro, setor censitário, jurisdição, cidade, etc. Estas análises visam identificar algum tipo de padrão espacial: aglomeração, regularidade ou aleatoriedade e realizar uma associação com as características geométricas da via (seções retas, seções curvas, raio de curvatura, superlevação, etc) para segregação dos trechos homogêneos. O estudo de análise espacial envolve várias análises entre eles o índice de aglomeração espacial.

4.2.1 Tratamento espacial de dados de acidentes de trânsito

Dentre os diversos métodos de tratamento espacial de dados nas análises de acidentes de trânsito, o procedimento de geoprocessamento envolve pelo menos três etapas distintas no projeto de um SIG: modelo conceitual, modelo lógico e o modelo físico.

4.2.1.1 Modelagem de Dados Espaciais

Na fase inicial do processo, o mundo real deve ser entendido e seus objetos conceituais identificados. A este entendimento e identificação chamamos abstração de dados e o modelo produzido após esta fase chamamos modelo conceitual. Chamado também de representação de alto nível, considera exclusivamente o ponto de vista do usuário criador dos dados.

Um modelo conceitual é definido como conjunto de conceitos usado para descrever estrutura e operações em um banco de dados. O modelo conceitual procura sistematizar o entendimento a respeito de objetos e fenômenos do mundo real, visando representá-los em um sistema informatizado.

É uma descrição de banco de dados de forma independente de implementação num sistema de gerenciamento. Registra quais dados podem aparecer no banco, mas não registra como estes dados estarão armazenados. Define a forma de representação e relacionamento das entidades que serão utilizadas no banco de dados visando permitir determinadas rotinas de manipulação dos dados. Nessa fase é desenvolvido o modelo para a construção do banco de dados geográficos, onde serão representados os dados descritivos e gráficos (ponto, linha ou polígono) que representam entidades ou eventos localizados geograficamente. Consiste também na padronização dos dados, onde são examinadas as inconsistências, verificados, organizados e corrigidos os dados dos boletins de ocorrência ([COSTA et al., 2017](#); [SOUZA, 2011](#); [SANTOS E RAIA Jr, 2006](#); [QUEIROZ 2003](#); [MEINBERG, 2003](#)).

4.2.1.2 Coleta e qualidade dos dados

Quando o objetivo é reconhecer a distribuição espacial dos acidentes de trânsito o uso de SIG pode gerar bons resultados. No entanto, um aspecto importante e que pode comprometer os

resultados é a qualidade dos dados a serem armazenados e manipulados ([SOUZA, 2011](#)). Em função da escassez ou da imprecisão das informações referentes aos locais dessas ocorrências, a qualidade dos dados sobre acidentes de trânsito tem limitado os resultados obtidos com o uso de SIG. [Alsop e Langley \(2001\)](#), [Barros et al. \(2003\)](#) também reconheceram problemas relacionados à coleta (e conseqüentemente à confiabilidade) dos dados.

O preenchimento dos formulários pode ser feito no local do acidente ou não. É comum que as condições emocionais das pessoas envolvidas estejam alteradas e reduza a disposição destas para responder perguntas, preencher questionários o que podem comprometer a qualidade dos dados. Em casos de atropelamentos, onde a vítima precisa de cuidados e os danos no veículo são pequenos, é comum que o registro seja realizado depois, na entrada do pronto-socorro ou e na delegacia de polícia ([SCHWARZ, 2013](#)). Em função disso, se o local não for conhecido dos envolvidos, é bastante provável que esses campos sejam deixados em branco ou apresentarem inconsistências.

O desafio de georreferenciar os acidentes rodoviários, além de enfrentar muito dos problemas já mencionados, a ausência de feições da paisagem ou de placas indicativas de quilometragem da via podem dificultar o registro do local exato das ocorrências. Tanto em um caso quanto em outro, o interesse e dedicação das pessoas que trabalham diretamente com esses registros são fundamentais para permitir que os locais exatos das ocorrências sejam conhecidos.

Em muitos casos, os registros realizados no local diferem dos registros realizados por profissionais da área de pronto-socorro e de saúde. Como a principal preocupação dessas equipes é com as condições de saúde das pessoas envolvidas, é bastante provável que não dedicarão a devida atenção a essa tarefa ao local onde o acidente ocorreu. Outra característica divergente é quanto à severidade do acidente, onde as mortes ocorridas no traslado ao hospital ou no pronto-socorro não são caracterizadas como mortes por acidentes de trânsito.

Uma forma de melhorar a precisão sobre o local preciso da ocorrência dos acidentes é por meio do uso do GPS pelos agentes de trânsito e equipes de resgates, disponíveis em *tablets* ou aparelhos celulares. A precisão conseguida, mesmo por aparelhos populares, é suficiente para os propósitos de pesquisa dessa natureza. Se os dados disponíveis estiverem armazenados em formato digital, é bastante provável que seja na forma de planilhas eletrônicas. Inúmeras colunas contendo data, hora, local, placa dos veículos e nomes das pessoas envolvidas, etc. e em cada

linha o registro de um acidente. O primeiro desafio é preparar esses dados para serem importados para o ambiente SIG.

Dependendo da qualidade dos dados disponíveis, as informações sobre o local podem não estar disponíveis. Mesmo assim é possível aproveitar esses dados para gerar tabelas e gráficos, úteis para reconhecer outros aspectos relativos aos acidentes, tais como sua distribuição ao longo dos dias da semana e das horas do dia. As ocorrências que não possuem informações suficientes para o georreferenciamento, mas, conste o nome da via, são úteis para reconhecer as vias que apresentam maior concentração de acidentes. Nesse caso, faz-se necessário considerar que o total de acidentes estará sendo atribuído à extensão total da via, quando na realidade podem se concentrar em apenas parte dela. Destaque-se também que vias com igual intensidade de fluxo, porém mais extensas, podem apresentar maiores número de acidentes que outras mais curtas. Para melhorar um pouco a qualidade dessas informações, pode-se dividir o total de ocorrências pela extensão total da via, estabelecendo-se a relação entre acidentes por quilômetro.

4.2.1.3 Rede digital de rodovias

Identificar onde as curvas horizontais estão localizadas e quais são as características geométricas das curvas foi uma tarefa essencial para o estudo proposto. No entanto, o Brasil não possui um banco de dados de curvas horizontais para suas rodovias e a maioria dessas informações está descrita no projeto. Sem acesso a uma base de dados para curvas, seria caro e demorado coletar informações desta curva através das abordagens tradicionais.

[Easa, Dong e Li \(2007\)](#) realizaram no Canadá uma investigação na identificação de curvas horizontais através de imagens do satélite IKONOS e comprovaram a viabilidade de derivar as características geométricas de curvas simples, compostas e espirais através do uso de um algoritmo aproximado baseado em imagens de satélite de alta resolução. No entanto, as desvantagens de usar imagens de satélite incluem a precisão reduzida quando as informações da pista são extraídas de regiões litorâneas ou urbanas, porque a variedade de cobertura do solo e presença de nuvens pode confundir o alvo, e precisão depende muito da resolução da imagem, e imagens comerciais de alta resolução são relativamente caras ([JIAN et al., 2017](#)).

Comparado com outras fontes de dados, um mapa digital é mais econômico e fonte de dados que economiza tempo. Pesquisadores do Reino Unido e Irlanda tiveram sucesso em suas

tentativas de extrair geometria de mapas digitais em um ambiente do *AutoCAD* ([HASHIM e BIRD, 2004](#); [WATTERS e O'MAHONY, 2007](#)). Eles usaram comandos do *AutoCAD* para reconstruir a diretriz principal da via com base no mapa rodoviário digitalizado no formato do *AutoCAD*. A diretriz principal reconstruída facilitou a localização dos pontos inicial e final de curvas simples. Raio da curva, ângulo, e comprimento foram calculados usando equações de geometria de curva.

O Departamento de Transportes da Flórida desenvolveu uma barra de ferramentas no *ArcGIS*, chamado extensão de curvatura, que é similar em função e operação para a calculadora de curva da *ESRI*. Embora nestas aplicações o cálculo do raio e comprimento da curva tenha sido realizado realizada pelo *ArcMap*, a identificação manual completa e construção de tangentes foi necessário, o que impediu estes métodos de conseguir uma alta eficiência e um baixo custo.

O Departamento de Transportes de Hampshire desenvolveu uma abordagem semi-automática para extração de dados de curva. O departamento desenvolveu um executável arquivo que recuperou as coordenadas da estrada de um *Geodatabase* (banco de dados do *ArcMap*) e produziu os *mileposts* de início e término da curva, raio e número de segmentos em um arquivo de texto. Este método foi projetado especificamente para um mapa da estrada SIG que tem um sistema especial de referência de vias definido por *mileposts*.

[Harpring \(2010\)](#) desenvolveu o *Curve Finder*. Um procedimento automatizado usando entradas de geodatabase que podem ser executadas em uma rede de estradas, não apenas em curvas individuais. O *Curve Finder* usa polilinhas para determinar o comprimento e o raio da curva por meio de dados de coordenadas. O programa identifica curvas à medida que se move a cada série de três pontos ao longo da rota para determinar onde as curvas estão localizadas e qual o seu raio e comprimento.

Para aquisição das informações dos trechos da rodovia que não dispunham de projeto geométrico não foi possível considerar o uso de imagens de satélites pelo processo automático (perda de precisão em áreas rurais) ou manual através da reconstituição geométrica (muito tempo de execução). Por esse motivo foi desenvolvida uma abordagem de extração de características geométricas de estradas baseados em classificadores de padrões para identificar a localização e informações geométricas das rodovias através de imagens de satélites de uma forma precisa e eficiente em termos de tempo ([MACEDO et al., 2020](#)). As etapas principais dessa abordagem

são: a) Detecção da estrada e b) Filtragem dos elementos de interesse e obtenção da rede viária. As etapas 1 e 2 são descritas a seguir:

a) Detecção de elementos da estrada

A detecção de elementos da estrada exige, além da própria imagem de satélite (no formato RGB), uma máscara na qual estão representadas as ruas, estradas não pavimentadas e outros locais de interesse. Elementos como árvores podem interferir na identificação de objetos de interesse e, portanto, o primeiro passo do método é identificar e subsequentemente removê-los, de forma que a região de importância seja reduzida. Para esse fim, a imagem é convertida no espectro de cores HSV (matiz, saturação e valor). O objetivo desta etapa é melhorar a precisão ao trabalhar com uma imagem colorida.

No algoritmo de filtragem, onde a identificação da estrada é realizada, o valor do brilho (V) (que varia entre 0 e 1, com 0 significando preto e 1 significando branco) recebe um certo limite. Então, todos os pixels que tem um valor abaixo do limite escolhido recebem um valor de 0. Para melhorar e aprimorar a imagem, a saturação (S) foi definida como um valor de 50%.

Após o processo de identificação da estrada, outros elementos indesejáveis que podem corromper a análise dos dados são eliminados. Os elementos que representam edifícios podem ser confundidos com as rotas de tráfego e, por esse motivo, também devem ser removidos. Para isso, é necessária a máscara de imagem (mencionada no início da seção). O algoritmo que executa esta etapa consiste em atribuir o valor 0 (preto) aos espaços correspondentes aos elementos de construção na imagem analisada, com base na máscara.

b) Filtragem dos elementos de interesse e obtenção da rede viária

As características extraídas após a classificação das imagens são segmentos lineares na forma de polígonos que representam os trechos da rede viária. Para obter os caminhos na forma de linhas simples, representativas da diretriz principal dos segmentos, foi necessário aplicar operações para conectar pequenas seções desconectadas e eliminar lacunas e objetos ainda presentes na cena que não são parte das estradas. Inicialmente, as pequenas seções descontínuas foram conectadas usando uma operação de dilatação. Posteriormente, as lacunas foram

eliminadas usando a operação de fechamento morfológico. Em todas essas operações, foi utilizado um elemento estruturador completo em forma de máscara 3x3. Para obter a malha viária na forma de linhas, foi aplicada uma operação morfológica até que cada segmento de estrada seja representado por uma única linha, com largura de um pixel.

Para o comprimento mínimo dos segmentos da rodovia será seguida a recomendação de trechos maiores do que 160m ([AASHTO, 2015](#)). A Tolerância foi definida pela média das cordas utilizadas nos projetos geométricos, de acordo com [Rasdorf et al. \(2012\)](#).

4.2.1.4 Projeto lógico (banco de dados geográficos)

Compreende uma descrição das estruturas que serão armazenadas no banco e que resulta numa representação gráfica dos dados de uma maneira lógica, inclusive nomeando os componentes e ações que exercem uns sobre os outros. Define como cada entidade será armazenada no sistema, e depende do *software* SIG que será utilizado.

4.2.1.5 Georreferenciamento dos dados de acidentes de trânsito

Os registros sobre o local e as condições em que os acidentes ocorrem são de fundamental importância para a adoção de medidas destinadas a reduzir o número dessas ocorrências. Com base nesses registros é possível (utilizando um SIG) produzir mapas georreferenciados dessa distribuição, mostrando os pontos mais críticos, separados por dia da semana, hora do dia, gravidade etc.

A estrutura do banco de dados geográfico precisa tornar as coordenadas dos acidentes de trânsito conhecidas num dado sistema de referência cartográfica. O processo chamado de georreferenciamento consiste em associar os atributos de cada acidente existente no banco de dados relacional aos seus respectivos locais na base cartográfica, representados por objetos do tipo ponto ([SOUZA e SILVA, 2017](#); [GOMES et al., 2016](#); [PAIXÃO e KOMATI, 2013](#); [SANTOS e RAIÁ Jr, 2006](#); [QUEIROZ, 2003](#); [MEINBERG, 2003](#)).

Dois terços dos dados manipulados por [Souza \(2009\)](#) estavam incompletos e não puderam ser georreferenciados o que pode tornar a tarefa de georreferenciar acidentes de trânsito no Brasil bastante custosa, em função do modo como os dados são coletados. O georreferenciamento de

acidente de trânsito pode ser realizado de modo automático ou manualmente. O modo manual pode ser desgastante e ocupar muito tempo do pesquisador. Quando é possível aplicar o modo automático, reduz-se o trabalho humano.

No modo automático há pacotes de SIG que possuem rotinas capazes de, cruzando informações da base cartográfica com os dados alfanuméricos, realizar o georreferenciamento automático deles. As planilhas contendo os dados sobre os acidentes de trânsito precisam ser importados para o ambiente SIG e algumas condições devem ser atendidas, como por exemplo:

- a) A coluna na planilha de dados que será utilizada como identificação da via (Km, nome da via, número do imóvel etc) precisa estar correta e coincidentemente preenchida na base cartográfica. Em casos de haver mais de uma via com a mesma identificação, outra variável terá que ser escolhida;
- b) Os pontos inicial e final de cada via, bem como dos cruzamentos, precisam ser informados para que o sistema possa reconhecer a localização na via em que um determinado acidente ocorreu.
- c) Faz-se necessário que o campo (coluna da tabela), referente à identificação do local no qual o acidente ocorreu, seja corretamente informado.

Atendidas essas condições, o software determina os locais onde os acidentes de trânsito ocorreram, calculando o ponto da via em função da identificação informada. O resultado dessa tarefa é um arquivo vetorial (ou mapa) na forma de pontos, dos acidentes georreferenciados.

O georreferenciamento manual de cada local indicado na planilha de dados terá de ser reconhecido sobre a base cartográfica e, com o auxílio de ferramentas próprias, indicar pontos sobre essa base. Para tanto, pode-se adotar um ou mais dos seguintes procedimentos:

- a) Os acidentes ocorridos em locais bastante conhecidos são fáceis de serem localizados e não exige levantamento de campo, bastando para tanto que a equipe responsável tenha um bom conhecimento sobre a cidade para indicar os locais de ocorrência;
- b) Dependendo do conhecimento da equipe, podem ser utilizadas imagens de satélite de alta resolução espacial para o reconhecimento de feições espaciais indicadas na planilha de dados. Imagens da área urbana da maioria das cidades brasileiras em resolução compatível com esse tipo de pesquisa já se encontram disponíveis na internet;
- c) Pode-se fazer o levantamento em campo com o uso de receptores GPS.

Uma vez concluído o processo de georreferenciamento dos dados, o próximo passo é unir o arquivo vetorial contendo pontos de acidentes com a planilha de dados alfanuméricos, empregando rotinas apropriadas para isso. A partir dessa etapa, os dados são tratados como qualquer outro manipulado em um ambiente SIG ([SOUZA, 2011](#)).

4.2.1.6 Estrutura dos Dados

Os dados alfanuméricos dos acidentes e a base cartográfica (arquivos vetoriais do sistema viário da cidade ou das rodovias da região pesquisada) compõem os principais dados num ambiente de SIG. Dependendo do interesse da pesquisa, outros arquivos vetoriais (de escolas, hospitais, centros de compras, dados demográficos ou socioeconômicos, etc) ou matriciais (imagens de satélites) podem ser necessários para ampliar a análise sobre as causas dos acidentes na medida em que apresenta informações mais abrangentes sobre as características geométricas das vias e o uso das áreas nas margens das vias.

Informações espaciais podem ser apresentadas de três modos distintos: pontual, linear ou poligonal e dão origem a mapas de pontos, linhas ou polígonos. Um mesmo mapa pode conter informações nos diferentes modos de implantação. Uma metodologia de análise espacial utilizada em transportes é a análise de rede. Segundo [Goodchild \(1992\)](#), as redes estão associadas a objetos geográficos (tubulações, linhas de transmissão, vias) que possui uma localização geográfica exata e está ligada a informações descritivas presentes no banco de dados. As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais, com topologia Arco-Nó que é associada a uma rede linear conectada.

A topologia Arco-Nó visa manter os relacionamentos entre feições lineares e pontuais, são direcionadas a solucionar problemas em áreas de aplicações que são baseadas em estruturas de rede. As relações espaciais são determinadas pela topologia e neste caso, são: vizinhança, pertinência, conexão, inclusão e interseção ([FILHO, 2005](#)). Para as análises de acidentes de trânsito uma forma de análise em rede pode ser incluída: análise de proximidade, como buffer. A análise de proximidade ou buffer é uma classe de operações espaciais que incluem a criação de limites, dentro ou fora de um polígono, a partir de distância. Os limites internos são formados pela expressão geográfica, a partir de uma determinada feição (ponto, linha ou polígono)

localizada no espaço e podem ser utilizadas para estabelecer áreas críticas para análise, proximidade ou acessibilidade de uma condição ([SOUZA et al., 2008](#)).

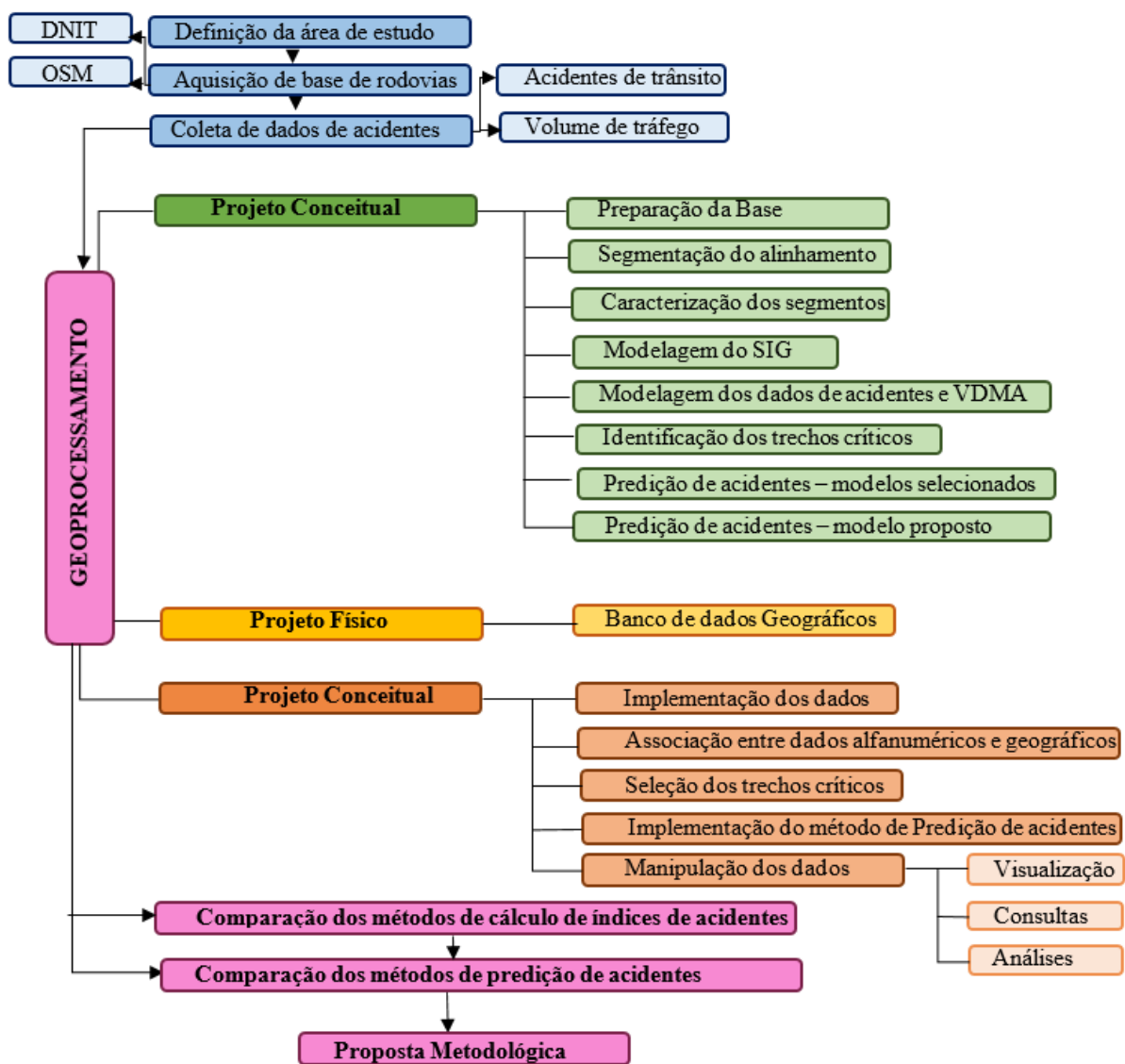
4.2.1.7 Projeto físico (Implementação dos dados)

É realizada a construção do banco de dados geográficos idealizados anteriormente, através da aquisição dos dados; importação dos dados para o meio digital; associação entre os dados gráficos e alfanuméricos e; desenvolvimento de rotinas para manipulação dos dados ([MEINBERG, 2003](#)). As causas de acidentes podem estar associadas a fatores aleatórios que independem do local de ocorrência do acidente, por exemplo, podendo estar associado com a imprudência do motorista e a fatores não aleatórios, vinculados a um ou mais atributos relativos ao local do acidente. O SIG permite a visualização de locais críticos e a sobreposição de diversos fatores intervenientes e, através de um conhecimento técnico especializado, podem ser propostas soluções adequadas para cada caso.

5 METODOLOGIA PROPOSTA PARA PREDIÇÃO DE ACIDENTES BASEADA EM SIG

Esse estudo analisa as rodovias de pista simples que são aquelas caracterizadas por duas faixas de tráfego sendo operadas em sentidos opostos e podem possuir eventuais faixas adicionais. O procedimento metodológico segue as etapas da pesquisa que podem ser visualizadas na [Figura 6](#) através do fluxograma proposto.

Figura 6 – Fluxograma da Metodologia Proposta



Fonte: A Autora (2019).

5.1 COLETA DOS DADOS

Para o desenvolvimento do banco de dados da pesquisa, os dados e informações foram coletados de fontes diferenciadas. O banco de dados armazena informações da malha viária, do ambiente e dos fatores de segurança viária, incluindo os acidentes de trânsito e o volume de tráfego, que foram relacionados, para o cálculo das taxas e índices de acidentes de trânsito. A partir de então foram realizadas as análises, visualização e tratamento dos segmentos críticos.

5.1.1 Dados de acidentes de trânsito

Para realizar a coleta dos dados dos acidentes de trânsito foi necessário buscar informações disponíveis nos cadastros dos órgãos gestores de trânsito responsáveis pela rodovia. As informações foram coletadas com busca minuciosa sobre acidentes de trânsito nos relatórios de acidentes de trânsito, onde foram extraídos basicamente dados sobre: a) mês, ano, hora e dia da semana. b) Local do acidente – Unidade de Federação (UF), rodovia e quilômetro. c) Tipo de acidente e fatores contribuintes (como defeito mecânico no veículo, falta de atenção, desobediência a sinalização, animais na pista, não guardar distância de segurança, velocidade incompatível, dormir na pista, ultrapassagem indevida, ingestão de álcool, entre outros). d) Situação dos envolvidos (mortos, feridos leves, feridos graves, ileso). e) Dados do local do acidente (classificação do acidente, tipo de pista, sentido da via, traçado da pista, condições da pista de rolamento, condição do tempo, fase do dia).

Os dados e informações dos acidentes de trânsito para a pesquisa foram coletados através das planilhas eletrônicas obtidas nos relatórios de acidentes de trânsito da Delegacia de Polícia Rodoviária Federal, formulados a partir do sistema do *software* DATATRAN do Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF), que possui o banco de dados com todos os boletins de ocorrência. O período selecionado para aplicação no estudo foi de 01 de janeiro de 2005 a 31 de dezembro de 2016, que é o período em que foi implantado e que existe o banco de dados completo e digital do sistema de cadastro de acidentes de trânsito do DPRF para a BR-232, entre os km 141 e km 356.

O DATATRAN do DPRF é o mais importante sistema de banco de dados sobre acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras. Esses registros, disponíveis em planilhas Excel, cobrem a

totalidade dos acidentes ocorridos nas rodovias federais policiadas, que por sua vez, correspondem a mais de 90% de todo o tráfego das rodovias federais (DENATRAN e IPEA, 2006).

5.1.2 Dados de rodovias

Foram obtidos os trechos do Plano Nacional de Viação (PNV), disponível no DNIT (2016). Esses trechos não sofreram nenhuma alteração construtiva no período analisado. Cada trecho possui um quilômetro de início e de fim, com suas extensões quilométricas conforme a homogeneidade de tráfego. Dentro de cada trecho do PNV foram obtidos os segmentos em estudo, que também são representados por quilômetros iniciais e finais. Foram obtidos também os dados das rodovias do *Open Street Map* (OSM) disponível na internet, que tem informações sobre a velocidade e sentido do tráfego.

Os dados relacionados à altimetria foram obtidos a partir da base de dados digital PE360 da Agência Condepe/Fidem, órgão responsável pelo mapeamento do Estado de Pernambuco.

5.1.3 Volume de tráfego

Foram obtidos os volumes de tráfego do Plano Nacional de Controle de Tráfego (PNCT), disponíveis no DNIT (2016) para os anos de 2014, 2015 e 2016. Cada trecho possui um a contagem volumétrica nos dois sentidos.

Para os anos anteriores (2007 a 2013), como não existia o ponto de coleta ativo do PNCT na área de estudo, foram considerados os VDMA do Relatório Anual da ANTT (2015).

5.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Conforme descrito na revisão bibliográfica, o geoprocessamento foi baseado em três processos: o projeto conceitual, o projeto lógico e o projeto físico. Foi realizada a preparação da base cartográfica, a segmentação do alinhamento, a caracterização semiautomática dos segmentos (tangentes e curvas), a modelagem e entrada dos dados alfanuméricos dos acidentes de trânsito e do VMDA, o cálculo das taxas de acidentes de trânsito baseada no método numérico do HSM e

do DNIT; o cálculo dos índices de acidentes de trânsito baseados no método estatístico espacial (KDE), para dessa forma, obter os segmentos críticos em cada método, de acordo com os segmentos homogêneos de tráfego.

5.2.1 Rede digital de rodovias – Banco de Curvas

O procedimento de vetorização semi-automática foi utilizado para todas as rodovias apresentadas nas imagens. O *layout* foi realizado no ambiente *ArcGIS*, configurando a escala de tela para 1: 6.000, a fim de padronizar a interpretação do alvo e obter vetores de linha de referência detalhados e homogêneos. Nesse processo, procurou-se delinear a linha central das estradas.

A partir dessa fase, as bases adquiridas pelo DNIT ou através das imagens eram similares. O principal problema encontrado inicialmente foi a segmentação das curvas que o programa *Autocad Civil 3D* forneceu. Nesse programa, uma curva foi classificada como tendo múltiplos pontos iniciais e finais, criando a aparência de várias curvas de comprimento variável, não refletindo a realidade do local.

Foram feitas algumas considerações sobre as técnicas possíveis para coleta das características geométricas das curvas. Os dados coletados através das técnicas de topografia podem não representar com precisão os parâmetros originais de projeto da pista, visto que são medidas diretas da estrada que estão sujeitos a erros resultantes de reabilitação e reestruturação de pavimentos ao longo do tempo. Os dados de projeto representam as características geométricas planejadas da estrada, mas, não captura os desvios que foram feitos durante a construção; os *as-builts* que poderiam representar os resultados reais da construção podem não estar disponíveis. Foi necessário desenvolver um algoritmo para combinar os dados fornecidos pelo programa, para unificar a segmentação criada.

Diante do exposto, com base no aproveitamento da base de rodovias disponibilizada pelo DNIT, optou-se pelo desenvolvimento de um processo semi-automatizado, envolvendo a combinação entre:

- a) técnicas de redução de vértices usando *ArcTool Box* do *ArcMap*;

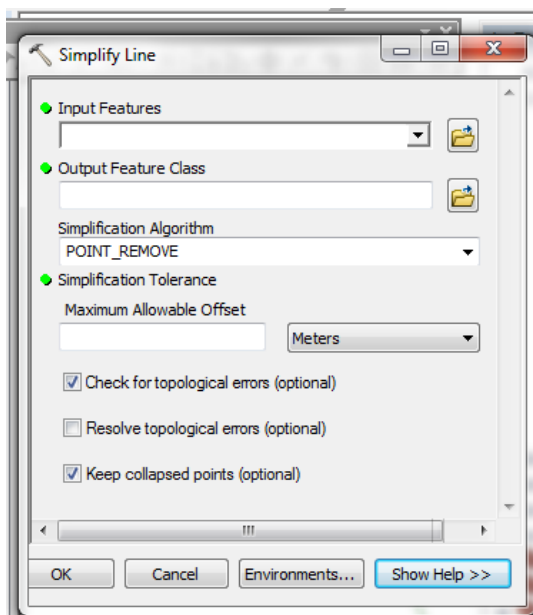
- b) elaboração de um algoritmo para identificar as curvas no *AutoCad Civil 3D*;
- c) visualização dos resultados utilizando imagens de satélites como referência e
- d) criação de um alinhamento no *AutoCad Civil 3D* com base nas normas do DNIT para projeto geométrico de rodovias.

As etapas 1, 2 e 4 são descritas a seguir:

a) Redução do número excessivo de vértices

O mapa digital de rodovias foi calibrado recebendo informações a respeito da quilometragem da rodovia. Os trechos são identificados através do nó inicial e do nó final. O mapa original tinha nas linhas que representam as rodovias, vértices muito próximos que acabam aumentando o número de elementos necessários, os segmentos tornam-se muito pequenos, muitos são inferiores a 0,1m não atendendo a recomendado de trechos maiores do que 160m. Nos trechos curvos, não permite a identificação correta dos pontos de início e fim de curva, comprometendo o cálculo dos demais elementos necessários. Foi utilizada a função do ArcMap para redução do número de vértices, como mostra a [Figura 7](#).

Figura 7 – Função para redução do número de vértices



Fonte: A Autora (2019).

b) Identificação dos elementos da curva

Para garantir que a identificação da curva seja aplicada de forma consistente o algoritmo IDCurva (mostrado abaixo) identificou o PC (ponto de curvatura, onde começa a curva), PT (ponto de tangência, onde a curva termina) e o PI (ponto de interseção das tangentes) para as curvas circulares simples e o TS (início do primeiro ramo de transição), SC (ponto de curvatura, onde começa a curva circular), CS (ponto onde termina a curva circular e inicia o segundo ramo de transição) e ST (final do segundo ramo de transição). O PC e PT são pontos importantes das curvas circulares simples e o TS, SC, CS e ST são pontos importantes das curvas de transição, pois fornecem os limites da curva para os limites do arco e a corda e diferenciam a curva dos segmentos de trechos retos ou de outras curvas. A localização do PC e do PT para as curvas circulares simples e do TS, SC, CS e ST também fornece a capacidade de calcular a distância entre cada curva.

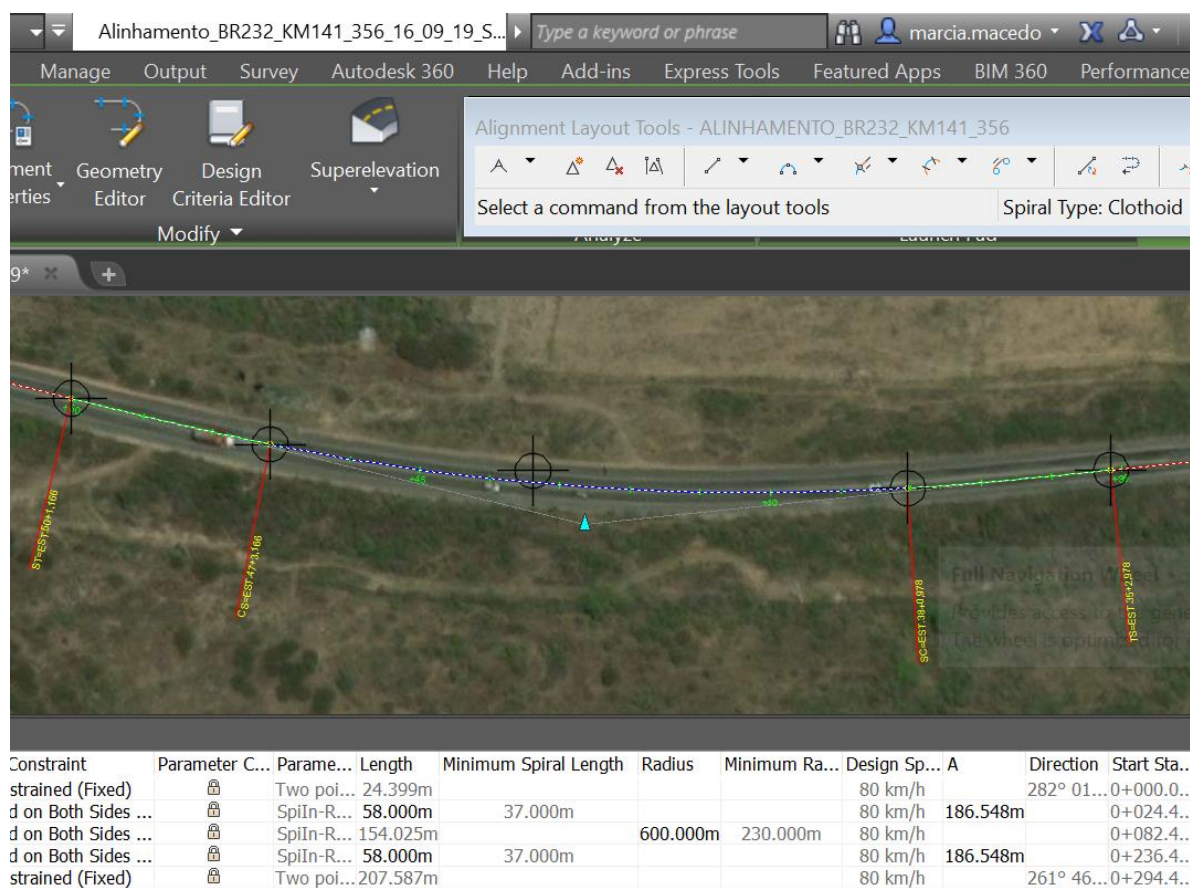
```
(setq cmde (getvar 'cmdecho))
(setvar 'cmdecho 0)
(command "_.undo" "_begin")
(setq
  disttemp
  (getdist
    (strcat
      "\nMaximum distance between non-collinear vertices to straighten"
      (if *distmax* (strcat " <" (rtos *distmax* 2 2) ">") ""); default only
    if not first use
      ": "
    ); end strcat
  ); end getdist & disttemp
  *distmax*
  (cond
    (disttemp); user entered number or picked distance
    (*distmax*); otherwise, user hit Enter - keep value
  ); end cond & *distmax*
  cidtemp
  (getangle
    (strcat
      "\nMaximum change in direction to straighten"
      (strcat ; offer prior choice if not first use; otherwise 15 degrees
```

c) Criação de um alinhamento no *AutoCad Civil 3D*

A rodovia analisada foi classificada com base na velocidade de projeto informada na base *OSM* e cada trecho foi convertido em alinhamento usando o *AutoCad Civil 3D*. As normas de projeto de rodovia estão contidas no arquivo de critérios de projeto que foi personalizado para refletir as normas locais, com base no Manual do [DNIT \(2010\)](#), usando Editor de Critérios de Projeto. O Arquivo de critérios do projeto baseado em *XML* armazena as fórmulas e tabelas de normas que se podem utilizar para calcular taxas de superelevação e estacas críticas de superelevação em um alinhamento.

A partir da reconstrução do alinhamento e a identificação foi criada uma tabela contendo todas as informações das curvas (raio, ângulo, transição, deflexão, grau da curva, coordenadas, comprimento) e estas foram exportadas para uma tabela do Excel ([Figura 8](#)).

Figura 8 – Tabela da reconstrução do alinhamento no *AutoCad Civil 3D*



Fonte: A Autora (2019).

5.2.2 Base de dados digital

Os dados do ambiente do segmento selecionados a partir da combinação das duas bases obtidas, DNIT e OSM foram relacionadas ao tipo de pista (pavimentada ou não pavimentada, duplicada ou simples), ambiente (rural ou urbano), sentido da pista e a velocidade máxima no qual o mesmo está inserido.

Outra informação importante foi a classificação da topografia do terreno a partir da base de dados PE digital para cálculo do greide a partir do perfil do alinhamento reconstruído. A classificação adotada foi proposta pelo DNIT (2015).

5.2.2.1 Modelagem e entrada dos dados descritivos dos acidentes de trânsito e do VMDA

No banco de dados podem ser digitalizadas as informações dos acidentes de trânsito em software específico, como a planilha do *Microsoft Excel*, *Acess*, *dBASE* ou semelhante, que possua um *link* para que possa ser inserido o banco de dados no SIG ([REINHOLD, 2006](#)). Primeiramente no método proposto foi utilizada a planilha do Microsoft Excel para a montagem do banco de dados, posteriormente optou-se pelo formato dBASE, usado por diversos aplicativos que precisam somente de um formato para armazenar seus dados estruturados. Além disso, as informações relacionadas aos acidentes foram dispostas em colunas, para que cada característica fosse posteriormente importada para o *Software* SIG. Os campos obtidos nessas colunas encontram-se no [Anexo B](#). Da mesma forma como os dados dos acidentes de trânsito foram manipulados, o Volume Médio Diário Anual (VMDA) de cada segmento foi digitalizado, em planilha do Microsoft Excel, e posteriormente em formato dBASE, para que pudessem ser relacionados com os acidentes de trânsito em cada segmento para os anos de 2007 a 2017. Optou-se por uma modelagem com todas as informações embora as mesmas possam não ser utilizadas em sua totalidade nesse momento, visto que as bases não são completas para todos os anos. As faixas etárias foram classificadas em três classes: 18 a 30 anos, entre 30 e 50 anos e maiores de 50 anos. Os dias de segunda a quarta foram classificados como “dias de semana” e de quinta à domingo como “final de semana”.

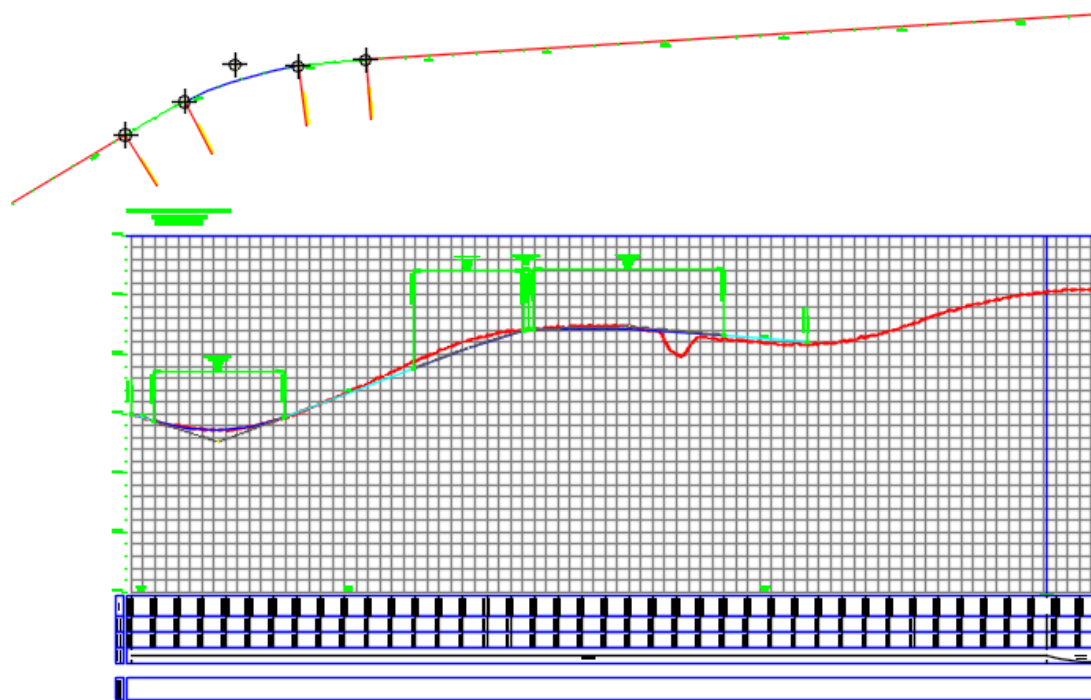
5.2.2.2 Modelagem e entrada dos dados das curvas

Verificou-se o comportamento das variáveis geométricas das curvas sugeridas citadas no item 5.2. e que puderam ser identificadas na base de dados.

O greide foi obtido a partir da medição dos valores das cotas no ponto início da curva (PC) e no ponto de intersecção (PI) ou, no ponto de intersecção (PI) e no ponto final da curva (PT), obtidos a partir do cruzamento entre o modelo digital de terreno fornecido pela agência Condepe/Fidem e o alinhamento ([Figura 9](#)). Considerando-se a estrada plana, em um declive ou aclive das tangentes. Será considerada a superelevação quando a diferença entre a superelevação real e a superelevação recomendada exceder 2%. Outro dado considerado foi o comprimento do ramo de transição na entrada e saída da curva (Lc).

A tabela contendo os campos das colunas referentes às informações das curvas encontram-se no [Anexo A](#).

Figura 9 – Tabela do alinhamento no *AutoCad Civil 3D*



Fonte: A Autora (2019).

5.2.2.3 Modelagem e entrada dos dados da rodovia

Nessa etapa foi definida a forma que os dados foram inseridos (georreferenciados) no SIG. A base de rodovia foi dividida em quilômetros, através da segmentação dinâmica, tornando possível associar qualquer informação baseada na quilometragem da rodovia, como por exemplo, os dados dos acidentes, volumes de tráfego e ambiente. A rodovia também foi classificada de acordo com a velocidade máxima permitida. A partir da base georreferenciada, onde foram anexadas todas as informações, o *software* SIG converteu um arquivo *dBase* com as informações dos acidentes em um arquivo de pontos. Para unir os dados, as tabelas das demais informações tem a rodovia a que pertencem e a quilometragem. Essas informações foram pontuais (marco quilométrico) ou lineares (trecho da rodovia). Os acidentes, localização de acessos, placas, etc. foram informações pontuais, projeto geométrico, tráfego, etc. informações tabulares associadas as feições lineares (alinhamento). Foram considerados como segmentos homogêneos os segmentos localizados na base a partir de um quilômetro de início e um quilômetro de fim, com características similares de velocidade máxima permitida e uso do solo. Essa segmentação foi prevista nessa fase com todas as informações atribuídas em tabelas. A tabela contendo os campos das colunas referentes às informações dos segmentos encontram-se no [Anexo B](#).

Uma base de regras (*rule*) também foi usada para criar o mapeamento dos dados. O mapeamento dos dados foi necessário para que informações de texto pudessem ser codificadas numericamente para operações de especificação e consulta de dados. Foi desenvolvida para ler e converter os dados com base nas regras de codificação. Por exemplo, a seguinte regra de mapeamento dos dados é usada para obter informações do dia da semana:

```
Column = DIA_DA_SEMANA
1 = Segunda OR Terça
OR Quarta OR Quinta
2 = Sexta
3 = Sábado
4 = Domingo
0 = UnSpecified
END
```

5.2.2.4 Integração das bases de dados

Ao tentar unir os dados de acidentes e rodovias, ocorreu um problema na maneira como os dados estavam organizados. Os dados de acidentes e rodovias são representados em sistemas diferentes. Os dados de acidentes utilizavam o número do quilômetro aproximado onde ocorreu o acidente e os dados da estrada usam números do inventário do DNIT com base na quilômetro inicial e final da rodovia.

Para garantir que os dois conjuntos de dados fossem compatíveis, foi utilizada uma combinação de duas técnicas para criar um campo comum para mesclar os dois conjuntos de dados. Na primeira técnica foi criado um campo de referência do quilômetro (KM_REF) na tabela de dados da rodovia e uma tabela de conversão, desenvolvida para criar um campo comum. A tabela de conversão reconhece o quilômetro de referência e associa os dados de acidentes e atribuindo o acidente ao seu quilômetro correspondente. Na segunda técnica, foi realizada uma junção espacial entre as tabelas, ou seja, cada dado de acidente foi atribuído espacialmente ao segmento pertencente. Essas duas técnicas permitiram o reconhecimento e a atribuição de mais de 99,6% dos acidentes.

5.2.3 Seleção das variáveis

Esta fase teve grande importância, pois foi nela que se verificou o comportamento das variáveis sugeridas pela bibliografia e que foram testadas nesse estudo. Na escolha das variáveis, inicialmente, utilizadas no modelo, foram consideradas somente aquelas que, de acordo com a avaliação dos especialistas, possuíam alguma ligação lógica com o problema em questão. Sendo assim, as variáveis foram escolhidas de acordo com a sua relevância para estudo. Além disso, teve-se cuidado na inclusão de variáveis que apresentem dependência entre si (autocorrelação), para evitar problemas na hora de escolha do melhor modelo.

As variáveis de interesse foram selecionadas com base nos resultados dos testes estatísticos. O processo de modelagem dos acidentes de trânsito iniciou com a análise da contribuição individual de cada uma das variáveis consideradas para o modelo. A etapa inicial foi fazer uma boa análise descritiva. A normalidade dos dados pode ser analisada descritivamente por meio de histogramas, *boxplots*, análise da distância entre média e mediana e coeficientes de

assimetria e curtose, que medem, respectivamente, o grau de desvio ou afastamento da simetria e do achatamento da distribuição. Além dos métodos descritivos, foi usado os testes de hipóteses de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilks que avaliam a normalidade.

A hipótese de a distribuição ser normal é rejeitada se o valor p associado a estatística de teste for menor que o nível de significância α . Assim, para um nível de significância α , a tomada de decisão é realizada comparando-se os dois valores de p :

Se $p \text{ calculado} \geq p \text{ tabelado} \rightarrow H_0$: distribuição da amostra é normal

Se $p \text{ calculado} \leq p \text{ tabelado} \rightarrow H_1$: distribuição da amostra é não normal

Após a análise preliminar e a constatação de que a distribuição normal não pode ser assumida, algumas alternativas podem ser adotadas. A mais comum é utilizar testes não-paramétricos, que não assumem nenhuma distribuição teórica para os dados. Os testes não-paramétricos mais conhecidos são o *Mann Whitney* como alternativa ao teste *t de Student*, *Wilcoxon* como alternativa ao teste *t* pareado e *Kruskall-Wallis* como alternativa à ANOVA com um fator.

As medidas estatísticas foram usadas para auxiliar na avaliação dos resultados finais, partindo da aferição da qualidade dos ajustes entre o número de acidentes observados e as variáveis envolvidas na modelagem. A técnica mais difundida para a avaliação da correlação entre duas variáveis quantitativas é o coeficiente de correlação produto-momento de *Pearson*, ou r de *Pearson*, que pressupõe distribuição normal das duas amostras e comportamento linear da relação entre as variáveis. A falta de observação dessas premissas leva a conclusões equivocadas, mesmo diante de amostragem numerosa.

O primeiro passo para analisar a correlação entre duas variáveis quantitativas deve ser a visualização do diagrama de dispersão, a fim de identificar se existe uma variabilidade gradual entre os conjuntos de dados, se essa variação é monotônica (predominantemente ascendente ou descendente), se assume uma tendência proporcional (linear) e se a distribuição subjacente dos dados é normal. Diferentes combinações dessas premissas indicam diferentes técnicas de análise de correlação.

É, porém, bastante comum que amostras de dados de acidentes não sigam distribuição normal (por exemplo, raio da curva, faixa etária, dias da semana, greide, número de acidentes).

As opções mais utilizadas na investigação da correlação entre variáveis que não apresentam distribuição normal, são a correlação da ordem de postos de Spearman e o coeficiente de correlação de postos de *Kendall* (Tau-b), que substituem os dados originais por postos ordenados (*ranks*). Esses métodos também se impõem em casos que ao menos uma das variáveis apresenta características ordinais (por exemplo, faixa etária, uso do solo, horário).

O Rho de *Spearman* foi usado preferencialmente ao r de *Pearson* devido à distribuição não normal das variáveis e as relações não lineares entre elas. O coeficiente ρ de Spearman mede a intensidade da relação entre variáveis ordinais. Usa, em vez do valor observado, apenas a ordem das observações. Deste modo, este coeficiente não é sensível a assimetrias na distribuição, nem à presença de *outliers*, não exigindo, portanto, que os dados provenham de duas populações normais. O Rho de *Spearman* converte medidas e calcula o nível de correlação entre as variáveis classificadas. É dado pela [Equação 13](#):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (13)$$

Em que:

n = o número de pares (x_i, y_i);

d_i = (postos de x_i dentre os valores de x) - (postos de y_i dentre os valores de y);

A análise do ajuste das variáveis em relação aos dados de acidentes foi feita observando-se os de ρ . Os sinais dos coeficientes indicam a relação direta ou inversa entre cada uma das variáveis explicativas e a variável resposta. Se os postos de x são exatamente iguais aos pontos de y , então todos os d_i serão zero e ρ será 1. O coeficiente ρ de *Spearman* varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo estiver destes extremos, maior será a associação entre as variáveis. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido contrário, isto é, as categorias mais elevadas de uma variável estão associadas a categorias mais baixas da outra variável.

O nível de significância destas variáveis deve estar abaixo de 0,05, para o caso do nível de confiança desejado ser de 95%. A escolha do nível de confiança de 95% deve-se ao fato de que a maioria dos estudos utilizaram esse valor, favorecendo uma base comparativa. O nível de significância do intercepto, em princípio, deve ser deixado mesmo que esteja abaixo do valor

desejado. O mesmo só deve ser eliminado da modelagem caso se tenha muita certeza de que a reta de regressão passa pela origem do gráfico ([GUJARATI, 2011](#)).

5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS TRECHOS HOMOGÊNEOS

O processo de definição do segmento homogêneo não é simples e carece de diversos critérios e variáveis bem definidas, além de uma base de dados consistente. Foram realizados dois tipos de classificação de trechos homogêneos, um com base nas especificações do HSM e outra baseada nas características espaciais. Os dois tipos são descritos nos itens 5.3.1 e 5.3.2.

5.3.1 Identificação dos trechos homogêneos pelo Método do HSM

Os segmentos homogêneos das rodovias foram classificados, em função de suas características físicas e operacionais. Seguiu-se a recomendação do manual HSM de que, o trecho não deverá ser inferior a 160m e deve compor no mínimo de 30 a 50 trechos de um mesmo tipo de via para a calibração. Não foram selecionados apenas trechos com elevado número de acidentes conforme também ressalta o manual.

Para a rodovia uniforme, a divisão de trechos homogêneos foi dada entre interseções. Caso contrário, a divisão de trechos homogêneos considerou início ou fim da curva horizontal, sendo que as transições espirais foram consideradas parte da curva. Para identificar as curvas foi utilizada a classificação conforme identificação das tabelas do DNIT. Um novo trecho foi inserido quando ao menos uma das características físicas ou operacionais, descritos no item 2.4.2, apresentaram variação.

5.3.2 Identificação dos Trechos Homogêneos pelas características espaciais

O processo de análise para a segmentação homogênea foi feito em etapas sequenciais, partindo-se da divisão inicial dos trechos de acordo com a velocidade, premissa para os segmentos serem convertidos em alinhamento usando o *AutoCad Civil 3D* e utilização do arquivo de critérios. Os segmentos foram agrupados em função do tipo de pista, uso do solo, traçado da

pista e greide. Para a obtenção dos valores das cotas do greide serão construídos perfis verticais a partir da base de dados altimétricos da agência Condepe/Fidem.

Para diferenciação dos trechos de retas e curvas foi utilizado o método proposto no item 5.2.1.

5.4 ESCOLHA DO MODELO ESTATÍSTICO

Para esse estudo foi desenvolvido um modelo específico com base em EEG. Com base nos testes do modelo, os valores das variáveis puderam ser alterados por algum tipo de transformação, como é o caso da aplicação de uma transformação log, que pode ser aplicada para variáveis cujos valores são diferentes de zero, permitindo que houvesse uma redução nas variâncias nas variáveis e entre as mesmas, diminuindo o efeito da heterocedasticidade entre elas ([GUJARATI, 2003](#)). Também foi avaliada a utilização de um número mínimo de variáveis utilizadas sem comprometer os resultados do modelo proposto. Os programas utilizados na modelagem foram o *Action Stat*, SPSS e o *GeoDa Space*.

5.4.1 Modelo proposto

O modelo proposto é classificado como modelo de Equações de Estimativas Generalizadas, que pode ser interpretado como uma extensão dos Modelos Lineares Generalizados para dados em painel e incorpora uma variedade de variáveis além de apenas volumes de tráfego. Variáveis como condições climáticas, geometrias das estradas, dados de tráfego e fatores humanos são usadas para calcular a frequência de acidentes. Ele segue a seguinte função inicial proposta por [Liang e Zeger \(1986\)](#), Equação 14:

$$\mu_i = \beta_0 * (\beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_n) + \varepsilon \quad (14)$$

Em que:

μ_i = frequência de acidentes previstos por ano

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ = são parâmetros de regressão

$X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{qi}$ = são as variáveis de interesse e ε = erro de especificação

Usar essa análise requer especificar: a) função de ligação, b) distribuição da variável dependente e c) a estrutura de correlação ([BALLINGER, 2013](#)). Os parâmetros de regressão (β 's) são estimados pelo estimador de máxima verossimilhança. Os cálculos das variâncias são realizados usando uma função de ligação, que transforma a variável dependente em uma equação de estimativas de parâmetros na forma de um modelo aditivo ($y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots$). Os resultados a partir dessas equações dão início a um processo iterativo usando procedimentos de mínimos quadrados que envolvem a minimização extensa da alteração do parâmetro estimado a partir de um modelo de regressão perfeitamente ajustado. À medida que o tamanho destas alterações tende a zero as estimativas dos parâmetros (β 's e erros padrão) estabilizam. As especificações corretas tornam as estimativas mais eficientes.

A eficiência das estimativas dos parâmetros β , depende da especificação da verdadeira estrutura de correlação de trabalho, e da magnitude dos parâmetros de correlação para obtenção das estimativas de α_0 . Estas estruturas permitem a especificação da correlação entre o número de acidentes observadas em um dado segmento de rodovia por diferentes períodos de tempo ([LIANG e ZEGGER, 1986](#)).

A verificação da presença e do tipo da estrutura de correlação dos dados de acidentes longitudinais de tráfego foi realizada testando as estruturas fornecidas pelo procedimento EEG. Dentre as possíveis estruturas de correlação, destacam-se a permutável, na qual considera-se que a correlação entre as observações dos indivíduos de um mesmo grupo é a mesma; a não estruturada, para a qual assume-se que entre cada observação dentro do grupo há um valor de correlação diferente; a auto regressiva de primeira ordem, quando supõe-se que as medidas dentro do grupo têm uma relação auto regressiva de primeira ordem, usualmente utilizada quando os dados estão correlacionados ao longo do tempo e, no caso de independência entre as observações, utiliza-se a estrutura independente ([WANG e ABDEL-ATY, 2008](#)).

O objetivo principal foi desenvolver um modelo simplificado que fosse capaz de incorporar os efeitos dos segmentos retos e curvos diretamente ao modelo considerando a dependência espacial, utilizando o mínimo de variáveis possíveis e disponíveis nas bases de dados consideradas, adequadas à realidade das rodovias rurais pista simples do estado de Pernambuco. Por outro lado, um número muito pequeno de variáveis explicativas poderia não ser suficiente para descrever bem os dados, embora fosse de fácil interpretação. Sendo assim, o que na realidade se buscou foi um modelo que pudesse expressar a realidade da dinâmica dos

acidentes com o mínimo de variáveis. A escolha desse tipo de rodovia deve-se as estatísticas crescentes do número acidentes, elevado número de óbitos, principalmente em curvas e foi influenciada pela disponibilidade de dados de mapeamento para algumas seções obtidas da base de estradas DNIT e da base cartográfica OSM.

A escolha do método se deve principalmente ao fato da possibilidade de misturar variáveis quantitativas e categóricas, não apenas como uma variável dummy (variável binária – 0 ou 1), mas, como uma variável multinomial (com mais de duas variáveis categóricas ordinais). A variável dependente é do tipo contagem (número de acidentes que ocorrem num determinado segmento), por isso foram verificados os pré-requisitos básicos do modelo: (1) as variáveis dependentes devem ser correlacionadas no vetor temporal (medidas repetidas) e (2) as unidades de análise devem ser independentes.

Para o ajuste de um modelo linear generalizado foi determinado o vetor ($\hat{\beta}$) de estimativas dos parâmetros. Esses coeficientes foram estimados a partir dos dados observados. A avaliação do modelo foi realizada utilizando uma medida de qualidade do ajuste que considerou a relação entre os dados observados e os valores estimados pelo modelo. Na determinação do vetor ($\hat{\beta}$) de estimativas dos parâmetros dos EEG foi utilizado a função de desvio (*Deviance*).

A função desvio é uma generalização da análise de variância, visando obter, a partir de uma sequência de modelos encaixados, ou seja, a partir de uma sequência de modelos onde cada modelo inclui mais termos que o modelo anterior, os efeitos de fatores, de covariáveis e de suas possíveis interações: grandes valores indicam uma inadequação do ajuste enquanto que, valores menores nesta escala indicam melhoria na qualidade do ajuste. A questão principal fica em decidir quais valores são pequenos e quais valores são grandes.

Nesse estudo, o primeiro passo foi verificar se os coeficientes estimados são significativos, isto é, se existe uma associação estatisticamente significativa entre as variáveis explicativas e a variável resposta. A escolha de outras medidas de ajustes partiu da avaliação e da análise, de quais haviam sido empregadas em alguns dos estudos selecionados na revisão bibliográfica. Para a avaliação da aderência da distribuição de acidentes nos segmentos, entre os dados reais e os previstos utilizou-se testes estatísticos Chi-quadrado de *Wald*. O χ^2_{calc} é obtido a partir de dados experimentais, levando-se em consideração os valores observados e os esperados, conforme apresentado na [Equação 15](#):

$$x_{cal}^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (15)$$

Em que:

E_i = frequência de acidentes previstas na categoria i ;

O_i = frequência de acidentes observados na categoria i ;

Como trata-se de uma hipótese alternativa, em que as frequências observadas de acidentes são diferentes das frequências previstas, houve a necessidade de verificar a associação entre os grupos através da comparação dos dados de x^2 calculado com o x^2 tabelado. O x^2 tabelado depende do número de graus de liberdade e do nível de significância adotado, sendo:

$$v = k - 1 - r \quad (16)$$

Em que:

v = número de graus de liberdade;

k = número de categorias em que a amostra foi dividida;

r = número de parâmetros estimados para o cálculo de E_i .

A hipótese do modelo se ajustar bem aos dados é rejeitada se o valor-p associado a estatística de teste for menor que o nível de significância α . Assim, para um nível de significância α , a tomada de decisão é realizada comparando-se os dois valores de x^2 :

Se x^2 calculado $\geq x^2$ tabelado $\rightarrow$ rejeita-se o modelo

Se x^2 calculado $\leq x^2$ tabelado $\rightarrow$ aceita-se o modelo

Quanto maior for o valor de x^2 mais significativa é a relação entre a variável dependente e a variável independente.

Como os dados de acidentes possuem uma localização geográfica, a análise de regressão em dados espaciais incorpora, na modelagem, a dependência espacial entre os dados, melhorando o poder preditivo do modelo. Primeiramente, fez-se a análise exploratória com o intuito de identificar a estrutura de dependência nos dados, visando a definição da forma de incorporação dessa dependência ao modelo de regressão. Existem dois tipos básicos de modelagem que

permitem incorporar o efeito espacial: as de forma Global e as de forma Local ([ANSELIN, 2002](#) e [CÂMARA et al., 2002](#)). No entanto, a adoção de um modelo espacial acarretaria no acréscimo de novos parâmetros como erros aleatórios com média zero (ϵ), a variância σ^2 , matriz de vizinhança espacial ou matriz de ponderação espacial (W) e coeficiente espacial autoregressivo (ρ).

A forma considerada para analisar a dependência espacial nos modelos de regressão neste estudo foi através da introdução de indicadores de autocorrelação espacial (Globais e Locais), como variáveis explicativas dos trechos homogêneos, somadas às variáveis tradicionais no modelo ([LOPES e SILVA, 2004](#); [LOPES, 2005](#); [LOPES e SILVA, 2005](#) e [LOPES et al., 2005](#)). Desta forma, são definidas variáveis espaciais globais e variáveis espaciais locais, que são obtidas pela análise espacial das variáveis socioeconômicas através de *software* de estatística espacial.

Como os estimadores e os diagnósticos tradicionais de regressão não levam em conta os efeitos espaciais, as inferências, como, por exemplo, as indicações de qualidade de ajuste baseadas somente no R^2 serão incorretas. As consequências são similares às que acontecem quando uma variável explicativa significativa é omitida do modelo de regressão. Quando se deseja comparar um ajuste obtido por um modelo de regressão padrão com um ajuste obtido por um dos modelos cuja especificação considera a autocorrelação espacial, uma medida como o R^2 não é mais confiável.

O método mais usual de seleção de modelos de regressão com distribuição não normal baseia-se nos valores do Teste de Hipóteses de Waldd os diferentes modelos. O teste de Wald é utilizado para testar a hipótese nula de que o parâmetro β_j estimado é igual a zero. As hipóteses a testar são:

$$H_0: \beta_j = 0 \quad \text{versus} \quad H_1: \beta_j \neq 0, j = 1, \dots, p \quad (17)$$

A estatística de teste e a respetiva distribuição, sob a validade de H_0 são:

$$w_j = \frac{\beta_j}{se(\beta_j)} \cap N(0,1) \quad (18)$$

Nos modelos com estrutura de dependência – espacial ou temporal – utilizam-se os critérios de informação onde a avaliação do ajuste é penalizada por uma função do número de parâmetros. Cabe observar que é necessário ainda levar em conta o número de parâmetros

independentes ao se incluir funções espaciais nos modelos. Para cada nova variável em modelo de regressão, acrescenta-se um parâmetro.

Dois elementos estatísticos foram considerados para a análise da qualidade do ajuste de cada modelo gerado: (1) o *Quasi-likelihood Information Criterion* (QIC) e (2) o teste dos resíduos acumulados (*CURE Plot*).

O QIC é uma modificação do critério informação de Akaike (AIC) no procedimento EEG. A comparação de modelos é feita utilizando o logaritmo da máxima verossimilhança, que é o que possui melhor ajuste para os dados observados. O QIC é expresso pela [Equação 19](#).

$$QIC = -2 * LIK + 2K \quad (19)$$

Onde:

LIK = é o log de verossimilhança maximizado

k = é o número de coeficientes de regressão

r = número de parâmetros estimados para o cálculo de E_i .

Segundo esse critério, o melhor modelo é o que possui menor valor de QIC. Diversos outros critérios de informação estão disponíveis nas ferramentas de estatística espacial, a maior parte dos quais são variações do QIC, com mudanças na forma de penalização de parâmetros ou observações.

O método CURE para avaliar a qualidade do ajuste baseia-se no estudo de resíduos, ou seja, a diferença entre o número de acidentes observados em um local e o valor esperado no mesmo local e no mesmo período, considerando que os resíduos assumem a distribuição não normal.

O gráfico *CURE Plot* é usado para o exame de resíduos após a estimativa dos parâmetros do modelo e avaliar se a função escolhida encaixa cada variável explicativa ao longo de toda a faixa de seus valores representados. A tendência dos resíduos com relação ao VDMA (ou outras variáveis) podem ser avaliados em relação à variação. Um desvio para cima ou para baixo é um sinal de que o modelo prevê consistentemente menos ou mais acidentes, respectivamente, do que foram contados. Assim, é desejável que o gráfico acumulado dos resíduos oscile próximo do zero

ou pelo menos entre as duas curvas adicionais formadas por limites aceitáveis ($\pm 2\rho^*$) para os resíduos acumulados.

Para a análise da validação do modelo será usada a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE). A RMSE é comumente usada para expressar a acurácia dos resultados numéricos com a vantagem de que RMSE apresenta valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada.

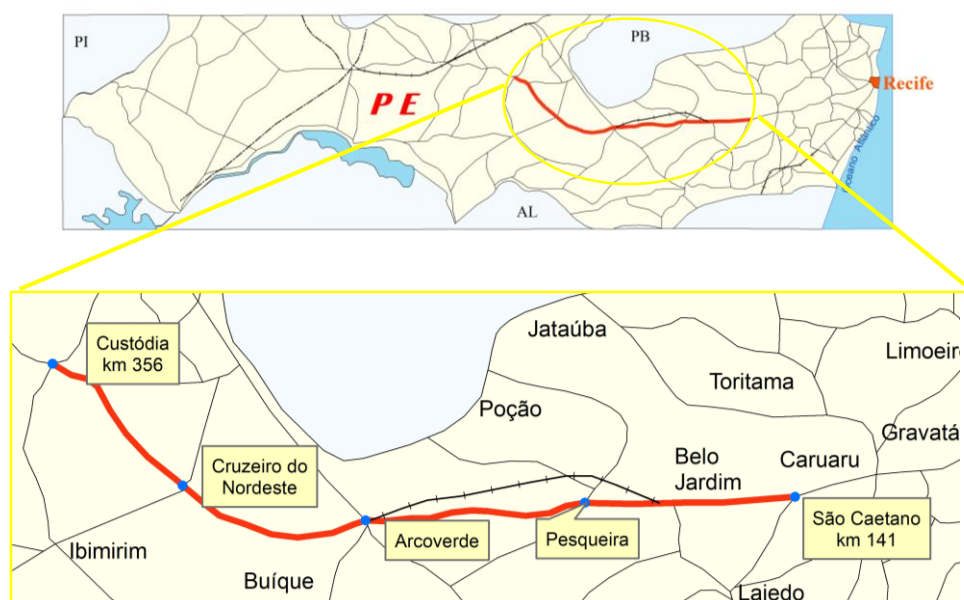
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentadas as análises e discussões dos resultados da pesquisa.

6.1 ESTUDO DE CASO

O escopo da análise foi a rodovia BR 232, no trecho entre os km 141 e 356, latitudes $8^{\circ} 02' 30'' S$ e $8^{\circ} 39' 27'' S$ e longitude $36^{\circ} 11' 56'' W$ e $37^{\circ} 48' 57'' W$ ([Figura 10](#)). O trecho de 255 km da rodovia federal rural perpassa os municípios de São Caetano, Pesqueira, Arcoverde, Cruzeiro do Nordeste e Custódia, no Nordeste do Brasil.

Figura 10 – Área de Estudo



Fonte: A Autora (2019).

Foram utilizadas as informações de acidentes do Banco de Dados da Polícia Rodoviária Federal, entre os anos de 2007 a 2016, que contém os Registros de Ocorrência (RO) e Boletins de Ocorrência (BO), da base de rodovias do DNIT, da base cartográfica do OSM e o modelo digital de terreno fornecido pela Agência Condepe/Fidem.

Os VMDA considerados para os anos de 2014, 2015 e 2016, apresentados na [Tabela 7](#), foram obtidos junto ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), com

contagem de tráfego volumétrica e classificatória. As contagens de tráfego são permanentes e estão baseadas na instalação de equipamentos de contagem de tráfego em que o volume de veículos que passa em determinado ponto da rodovia será contabilizado e classificado.

Tabela 7 – Volumes Médios Diários Anuais (2014 a 2016) do trecho estudado na BR 232-PE

Ano	Volume (VMDA) (veiculo/dia)
2014	6684
2015	6720
2016	6530

Fonte: PNCT/DNIT (2019).

Para os anos anteriores (2007 a 2013), como não existia o ponto de coleta ativo na área de estudo, foram considerados os VDMA do Relatório Anual da ANTT (2015), conforme mostra a [Tabela 8](#).

Tabela 8 – Volumes Médios Diários Anuais (2007 a 2013) do trecho estudado na BR 232-PE

Ano	Volume (VMDA) (veiculo/dia)
2007	5997
2008	5872
2009	6220
2010	6317
2011	5989
2012	6480
2013	6627

Fonte: ANTT (2015).

A falta de padronização dos boletins de ocorrência e a falta de rigor no seu preenchimento diminuem a sua confiabilidade e a sua aplicação em estudos. Assim, foi feita uma análise para identificar a ausência ou inconsistência de dados nas informações registradas nos boletins. As tabelas que não apresentaram todas as informações necessárias, como local, tipo e data do acidente, foram excluídas da amostra. Os dados do ano de 2017 também foram excluídos da amostra por apresentarem padronização diferente dos anos anteriores, apesar de serem mais completos. Uma amostra da tabela consolidada do banco de dados pode ser observada na [Figura 11](#).

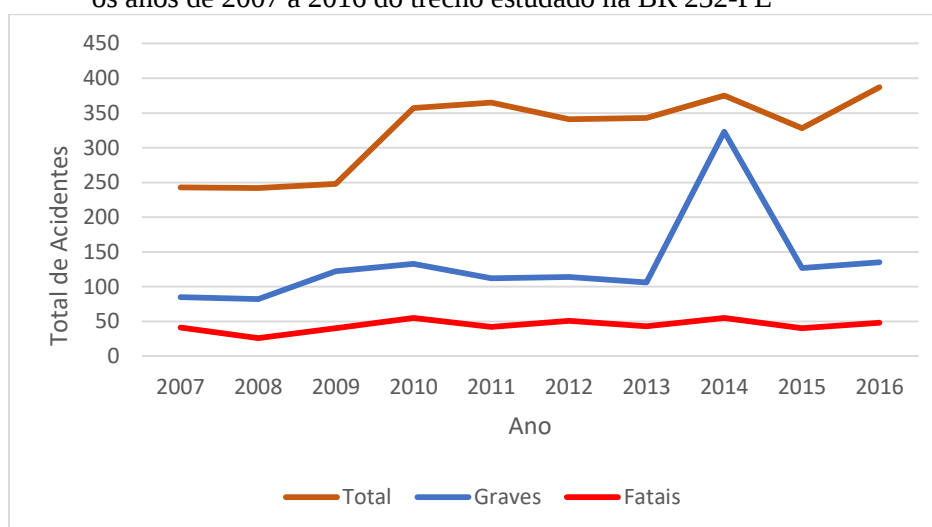
De acordo com os dados da Polícia Rodoviária Federal (2017), o número de mortes no trânsito no trecho estudado aumentou 11,18% nos últimos dois anos anteriores a 2012. Entre os anos de 2014 e 2015 houve uma diminuição no número total de acidentes, no entanto, 2014 também registrou os mais altos índices de acidentes graves e acidentes com vítimas fatais. Desde 2016, os índices de acidentes de trânsito voltaram a crescer cerca de 15,24% ao ano ([Figura12](#)).

Figura 11 – Tabela consolidada do banco de dados de acidentes

NUMERO	KM_INICIAL	KM_FINAL	TIPO	T_2007	T_2008	T_2009	T_2010	T_2011	T_2012	T_2013	T_2014	T_2015	T_2016	T_2017	TOTAL ACIDENTES	
1	148,10	148,70	TANGENTE	2	1	0	1	3	1	0	1	0	2	2	11	
2	148,70	149,00	CURVA	0	0	0	2	1	1	0	0	0	1	0	5	
3	149,00	149,40	TANGENTE	2	1	0	1	0	0	1	2	1	1	0	9	
5	149,40	149,70	CURVA	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	4	
6	149,70	150,10	TANGENTE	4	2	0	0	0	0	1	2	0	1	0	10	
7	150,10	150,20	CURVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
8	150,20	150,40	TANGENTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	
9	150,40	150,60	CURVA	1												
10	150,10	154,60	TANGENTE	2	1	148,10	148,70	TANGENTE	2	3	3	1	0	2	0	0
11	154,60	154,60	CURVA	3	2	148,70	149,00	CURVA	0	0	0	0	0	0	0	0
12	154,60	155,70	TANGENTE	4	3	149,00	149,40	TANGENTE	2	3	3	0	1	1	1	0
13	155,70	155,70	CURVA	5	5	149,40	149,70	CURVA	1	2	2	0	0	2	0	0
14	155,70	155,80	TANGENTE	6	6	149,70	150,10	TANGENTE	4	8	10	0	0	5	1	4
15	155,80	155,80	CURVA	7	7	150,10	150,20	CURVA	0	0	0	0	0	0	0	0
16	155,80	157,60	TANGENTE	8	8	150,20	150,40	TANGENTE	0	0	0	0	0	0	0	0
17	157,60	157,60	CURVA	9	9	150,40	150,60	CURVA	0	0	0	0	0	0	0	0
18	157,60	158,30	TANGENTE	10	10	150,10	154,60	TANGENTE	12	21	25	0	5	16	0	4
19	158,30	158,30	TANGENTE	11	11	154,60	154,60	CURVA	0	0	0	0	0	0	0	0
20	158,30	159,10	TANGENTE	12	12	154,60	155,70	TANGENTE	0	0	0	0	0	0	0	0
21	159,10	159,10	CURVA	13	13	155,70	155,70	CURVA	0	0	0	0	0	0	0	0
22	159,10	161,00	TANGENTE	14	14	155,70	155,80	TANGENTE	0	0	0	0	0	0	0	0
23	161,00	161,00	CURVA	15	15	155,80	155,80	CURVA	0	0	0	0	0	0	0	0
16	155,80	157,60	TANGENTE	6	10	22	22	1	8	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: A Autora (2019).

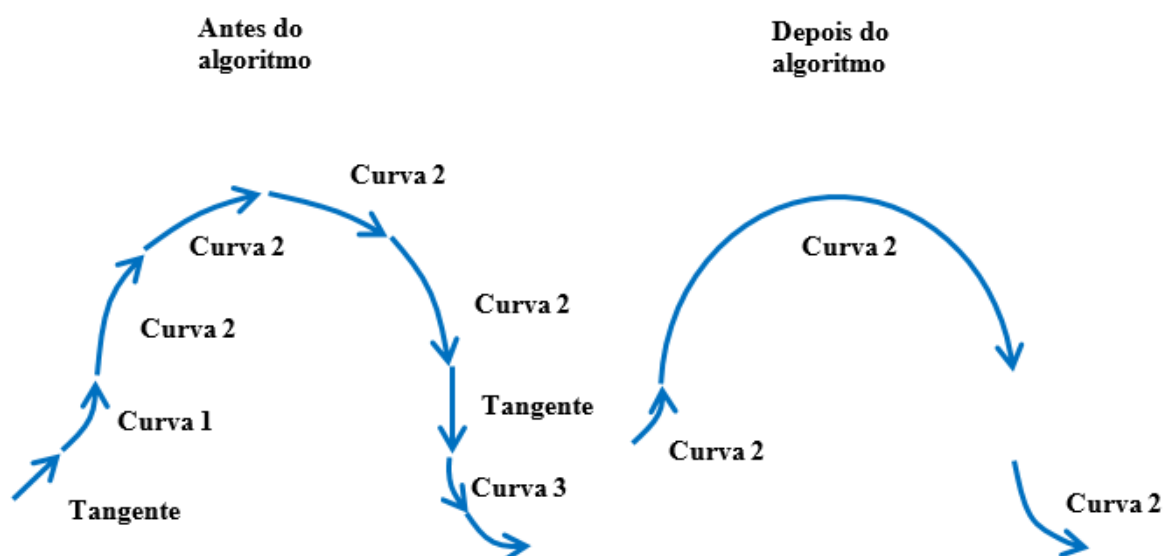
Figura 12 – Gráfico da Comparação entre o Total de acidentes, Acidentes Graves e Acidentes Fatais entre os anos de 2007 a 2016 do trecho estudado na BR 232-PE



Fonte: A Autora (2019).

O principal problema encontrado inicialmente foi a segmentação das curvas da base recebida pelo DNIT. No programa utilizado, *AutoCad Civil 3D*, uma curva foi classificada como tendo múltiplos pontos iniciais e finais, criando a aparência de várias curvas de comprimento variável, não refletindo a realidade do local. Foi utilizada a função MapClean do AutoCad Civil 3D para redução do número excessivo de vértices e o algoritmo IDCurva para identificação da curva, como pode ser observado na [Figura 13](#).

Figura 13 – Representação da identificação e combinação do algoritmo



Fonte: A Autora (2019).

Foi desenvolvido um banco de dados que forneceu informações detalhadas sobre larguras da pista, condições do acostamento, curvatura da estrada, greide e VDMA em 215km de estradas rurais em Pernambuco. Isso foi alcançado usando ferramentas de geoprocessamento para extrair atributos relevantes do alinhamento rodoviário, características espaciais do entorno, fluxo de tráfego e combinando com o banco de dados de acidentes criado para o estudo. Os dados de acidentes incluídos no banco de dados continham todos os acidentes registrados durante 10 anos, no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2016.

6.2 TESTES ESTATÍSTICOS PARA SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO PROPOSTO

Além dos dados de acidentes de trânsito foram utilizadas informações das características operacionais e geométricas, como o volume de tráfego diário anual e limite de velocidade. Foi feita uma compilação das variáveis citadas na literatura e seus valores recomendados, como mostra a [Tabela 9](#):

Tabela 9 – Variáveis necessárias ou desejáveis para o modelo de predição de acidentes

Características da rodovia	Necessidade de dados		Valores default*
	Requerido	Desejado	
Comprimento do trecho	X		Dado necessário
Volume diário médio anual (VDMA)	X		Dado necessário
Comprimento das curvas horizontais e tangentes	X		Dado necessário
Raio das curvas horizontais	X		Dado necessário
Presença da transição		X	Padrão local
Variação da superelevação das curvas horizontais		X	Sem variação
Greide		X	Considerar relevo
Largura da faixa	X		Dado necessário
Tipo e largura do acostamento	X		Dado necessário
Presença de iluminação		X	Não iluminado
Densidade de acessos		X	8 acessos/km
Presença de faixa adicional		X	Ausente
Presença de faixa adicional em ambos os lados		X	Ausente
Presença de faixa de acomodação central para conversão	X		Dado necessário
Presença de guias sonoras centrais		X	Padrão local
Taxa de atrito lateral à via (RHR)		X	RHR:3
Radares eletrônicos		X	Padrão local

*valores usados na ausência dos dados desejáveis

Fonte: Adaptado da AASHTO (2015).

Apesar da base de dados ter sido preparada para receber informações de muitas variáveis, os testes focaram em um modelo que pudesse trabalhar com as variáveis que podem ser coletadas, observando-se a realidade brasileira e o não comprometimento do modelo proposto. Foram considerados dois grupos de variáveis, um relacionado às variáveis espaciais (grupo 1) e outro à geometria da via (grupo 2).

As variáveis espaciais consideradas foram: causa do acidente, faixa etária, tipo do acidente, dia da semana, horário, traçado, condição, causa 1 (com vítimas feridas, sem vítimas, com vítimas fatais, ignorado), sentido, tipo de pista, uso do solo, fase do dia (pleno dia, plena noite).

No grupo 2 foram testadas as variáveis: largura de faixa, largura e tipo do acostamento, comprimento do segmento, greide e superelevação, raio da curva e comprimento da curva, incluindo o comprimento da espiral de transição, quando houver.

As variáveis explicativas do grupo 1 como fase do dia, condições climáticas e uso do solo puderam também gerar mapas temáticos de forma a conhecer melhor a distribuição espacial destas variáveis. Por exemplo, em 2016 ocorreram 387 acidentes no trecho de estudo.

Aplicando um filtro (`SELECT*FROM BR232_KM_148_356_ACIDENTES_2017 WHERE: "F_DIA" = 'Plena Noit' AND "TRACADO" = 'Curva'`) verificamos que 57 acidentes desse total ocorreram em curvas no período da noite. No entanto, desse total de acidentes ocorridos em 2016, 17% foram graves e 64% dos acidentes graves ocorreram em curvas ([Figura 14](#)).

Figura 14 – Distribuição espacial dos acidentes graves ocorridos em curvas no período noturno em 2016



Fonte: A Autora (2019).

A variável dependente (total de acidentes) é distribuída, de acordo com a severidade, entre as variáveis Fatal, Vítimas com ferimentos graves, Vítimas com ferimentos moderados, Vítimas com ferimentos leves e Danos materiais sem vítimas.

A escolha dos testes a serem realizados no grupo 2, entre paramétricos ou não-paramétricos, depende de duas condições básicas, a normalidade e a homogeneidade. Primeiro foram realizadas as análises descritivas para verificar se a frequência de acidentes em rodovias rurais pista simples no estado de Pernambuco obedece a distribuição normal ou não normal, visto que todo embasamento teórico considerou a distribuição não normal. A hipótese nula, ou seja, $p > 0,05$, significa que os dados obedecem a distribuição normal. Ambos os testes de normalidade, *Shapiro-Wilk* e *Kolmogorov-Smirnov*, apresentaram resultados de $p < 0,05$, portanto, a hipótese nula foi rejeitada e a distribuição dos dados é não normal, como mostra a [Tabela 10](#).

Tabela 10 – Valores dos testes de normalidade por severidade da frequência de acidentes em rodovias pista simples para o Estado de Pernambuco

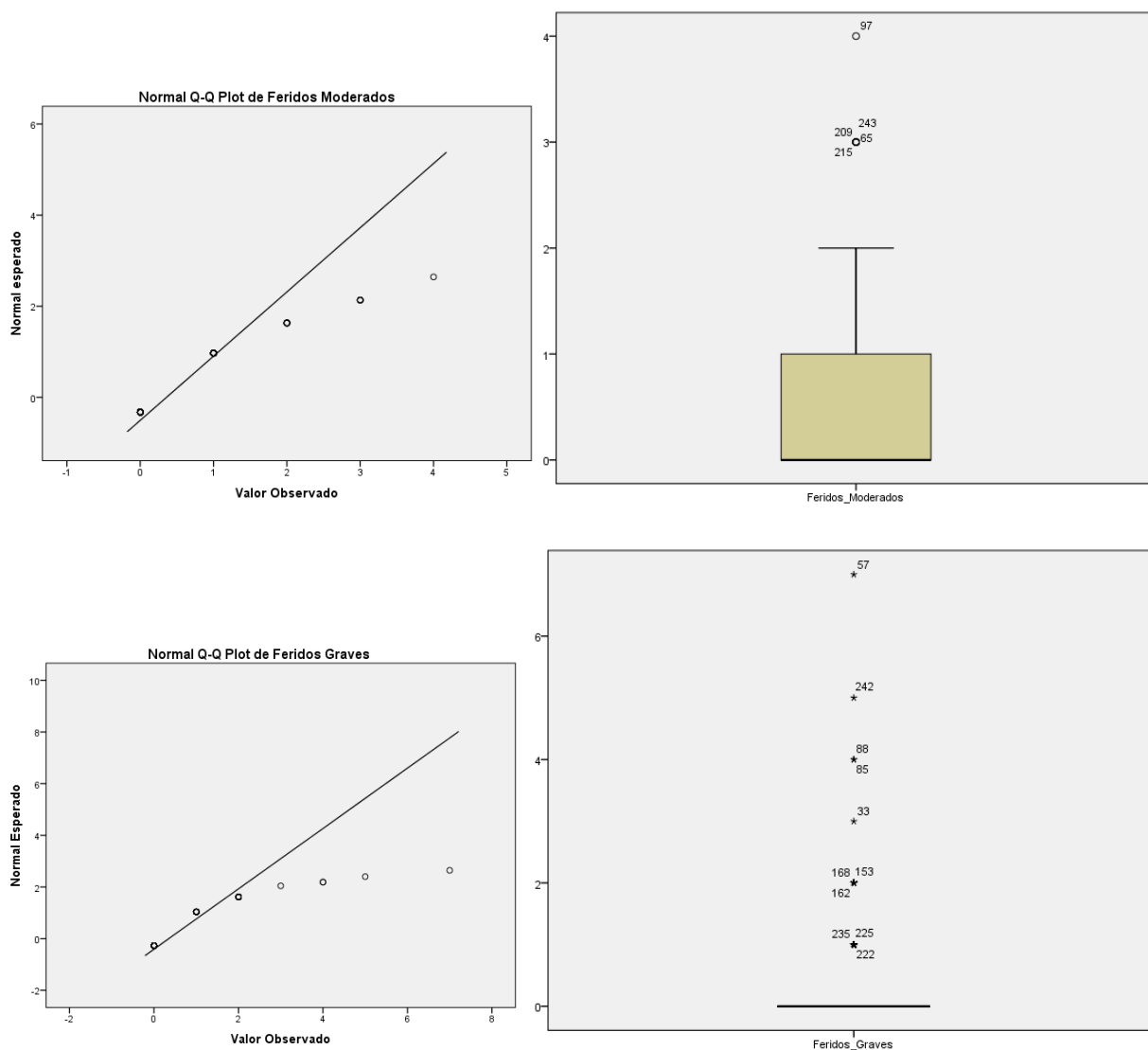
	Testes de Normalidade					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	GL	ρ	Estatística	GL	ρ
Total de Acidentes	,318	243	,000	,671	243	,000
Feridos Moderados	,438	243	,000	,564	243	,000
Feridos Graves	,445	243	,000	,464	243	,000
Feridos Leves	,273	243	,000	,845	243	,000
Acidentes sem Vítimas	,540	243	,000	,234	243	,000
Acidentes Fatais	,513	243	,000	,381	243	,000

Fonte: A Autora (2019).

A [Figura 15](#) apresenta o boxplot e a curva normal esperada para a distribuição do número de ocorrências de acidentes de trânsito com feridos graves, feridos moderados e feridos leves, registrados na área de estudo, no período de 2007 a 2016. A [Figura 16](#) apresenta o boxplot e a curva normal esperada para a distribuição do número de ocorrências de acidentes de trânsito com vítimas fatais e sem vítimas, registrados na área de estudo, no período de 2007 a 2016. Através dessas figuras pode-se verificar que os cinco tipos de eventos estudados apresentaram pontos discrepantes (*outliers*) na sua distribuição dos dados, ou seja, pontos acima de 1,5 vezes o desvio interquartilico mais o terceiro quartil. Foram 07 *outliers* na distribuição dos acidentes de trânsito

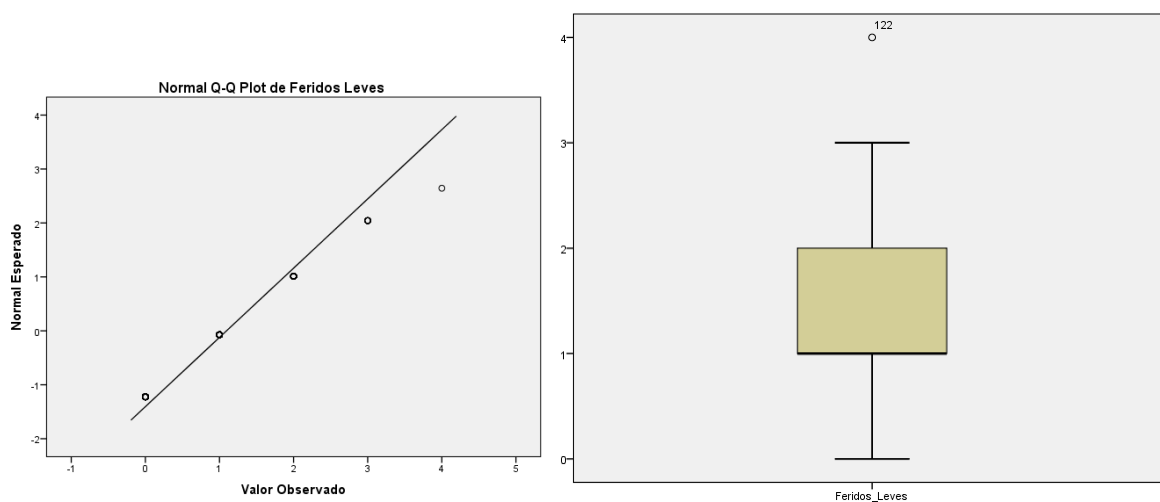
com vítimas fatais, 11 *outliers* na distribuição com feridos graves, 05 *outliers* na distribuição com feridos moderados, 01 *outliers* na distribuição com feridos leves e 04 *outliers* na distribuição dos acidentes de trânsito sem vítimas.

Figura 15 – *Boxplot* para a distribuição do número de ocorrências de acidentes de trânsito com feridos graves, feridos moderados e feridos leves, registrados na área de estudo, no período de 2007 a 2016.



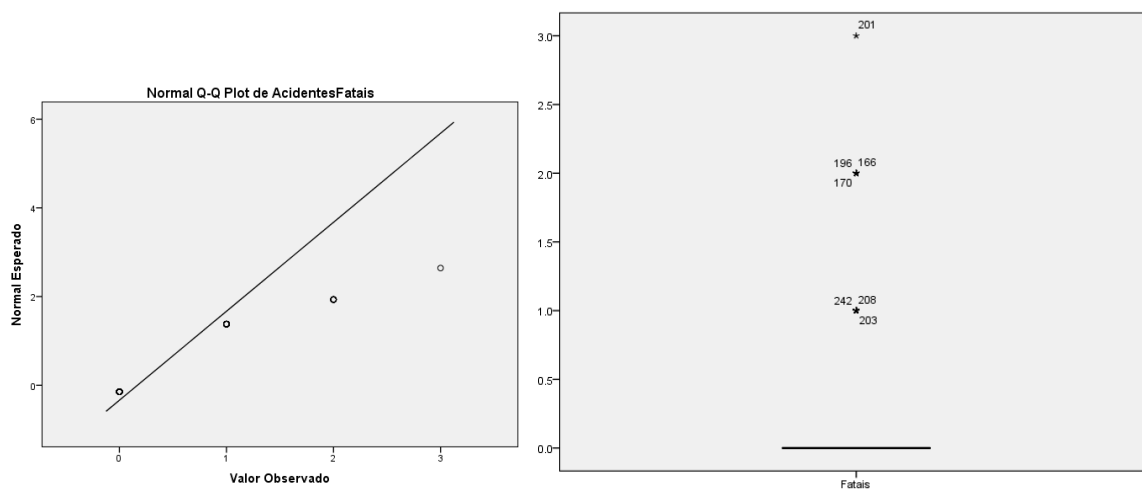
(continua)

Figura 15 (continuação) – *Boxplot* para a distribuição do número de ocorrências de acidentes de trânsito com feridos graves, feridos moderados e feridos leves, registrados na área de estudo, no período de 2007 a 2016.



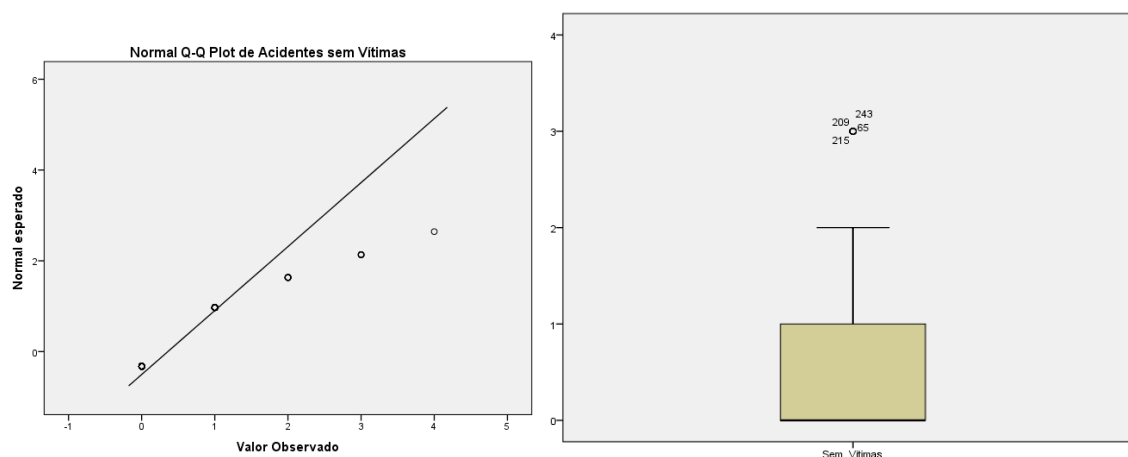
Fonte: A Autora (2019).

Figura 16 – *Boxplot* para a distribuição do número de ocorrências de acidentes de trânsito com Vítimas Fatais e sem Vítimas, registrados na área de estudo, no período de 2007 a 2016.



continua

Figura 16 (continuação) – *Boxplot* para a distribuição do número de ocorrências de acidentes de trânsito com Vítimas Fatais e sem Vítimas, registrados na área de estudo, no período de 2007 a 2016.



Fonte: A Autora (2019).

A confirmação da distribuição não normal indica a utilização de testes não-paramétricos. Apesar de parecer uma solução relativamente simples, a grande desvantagem dos testes não-paramétricos é que eles tendem a ser bem menos poderosos que os paramétricos. Além disso, sua aplicação torna-se mais difícil quando a análise é um pouco mais complexa, como por exemplo, comparações de médias envolvendo mais de um fator. É importante observar também que os testes paramétricos são bastante robustos, isto é, os resultados são válidos mesmo quando há pequenos desvios da normalidade. Por esta razão, inicialmente, buscou-se alternativas paramétricas com maior poder estatístico e consequentemente com resultados mais robustos e confiáveis.

A influência do traçado (reta ou curva) na severidade dos acidentes também foi analisada. A estatística descritiva apresentada na [Tabela 11](#) mostra o número de segmentos retos é maior do que as curvas, no entanto, as médias dos acidentes ocorridos em retas são muito próximas das médias dos acidentes ocorridos nas curvas.

Como a amostra é maior do que 30, o teste t pode ser utilizado desconsiderando a não normalidade dos dados. O teste t-independente mostrou que, em média, as retas apresentam uma maior influência nos acidentes de trânsito com feridos moderados ($t(241)=0,164$; $p<0,05$), feridos leves ($t(241)=1,740$; $p<0,05$) e acidentes sem vítimas ($t(241)=0,147$; $p<0,05$). Os acidentes com vítimas fatais ($t(57)=-0,028$; $p<0,05$) e feridos graves ($t(241)=0,164$; $p<0,05$) são mais frequentes em curvas, como mostra a [Tabela 12](#).

Tabela 11 – Estatística descritiva por severidade da frequência de acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco

	Tracado	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Feridos Moderados	Reta	202	,36	,728	,051
	Curva	41	,34	,617	,096
Feridos Graves	Reta	202	,31	,776	,055
	Curva	41	,56	1,163	,182
Feridos Leves	Reta	202	1,13	,764	,054
	Curva	41	,90	,831	,130
Acidentes sem Vítimas	Reta	202	,05	,227	,016
	Curva	41	,05	,218	,034
Acidentes Fatais	Reta	202	,17	,500	,035
	Curva	41	,17	,495	,077
Total de Acidentes	Reta	202	2,0248	1,28302	,09027
	Curva	41	2,0244	1,54091	,24065

Fonte: A Autora (2019).

Tabela 12 – Resultados do teste t independente para análise da influência do traçado na severidade dos acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco

	t	Graus de lib.	Sig. (2-tailed)	Diferença da Média	Desvio padrão da média	Intervalo de Confiança 95%	
						Lower	Upper
Feridos Moderados	,164	241	,870	,020	,122	-,220	,260
Feridos Graves	-1,340	47,475	,187	-,254	,190	-,635	,127
Feridos Leves	1,740	241	,083	,231	,133	-,031	,493
Sem Vítimas	,147	241	,884	,006	,039	-,071	,082
Vítimas Fatais	-,028	57,792	,977	-,002	,085	-,172	,168

Fonte: A Autora (2019).

A segunda condição a ser atendida para dar continuidade aos testes paramétricos é a homogeneidade das variâncias, no entanto, conforme mostra a [Tabela 13](#), o teste de *Levene* apresentou valores de $p < 0,05$, não satisfazendo a hipótese nula, ou seja, as variâncias são iguais.

Tabela 13 – Resultados do teste de *Levene* para análise da homogeneidade das variâncias dos acidentes de acordo com a severidade em rodovias pista simples do estado de Pernambuco

	Estatística de <i>Levene</i>	df1	df2	Sig.
Feridos Moderados	2,572	6	236	,020
Feridos Graves	4,460	6	236	,000
Feridos Leves	2,368	6	236	,031
Sem Vítimas	5,065	6	236	,000
Fatais	4,623	6	236	,000

Fonte: A Autora (2019).

Concluindo que as amostras não obedecem a distribuição normal e não são homogêneas, novos testes não-paramétricos foram realizados para considerar as possíveis interações entre as variáveis do grupo 1. O teste de Mann-Whitney mostrou que o traçado interfere na frequência de acidentes com feridos graves ($U = 3811$; $p < 0,05$) e acidentes com vítimas fatais ($U = 4127$; $p < 0,05$) e feridos leves ($U = 3384$; $p < 0,05$), enquanto que os acidentes com feridos moderados ($U = 4090$; $p > 0,05$) e acidentes sem vítimas ($U = 4117$; $p > 0,05$), não sofrem essa interferência. Os resultados são apresentados na [Tabela 14](#).

Tabela 14 – Resultados do teste de não-paramétrico de *Mann-Whitney* para análise da influência do traçado na severidade dos acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco

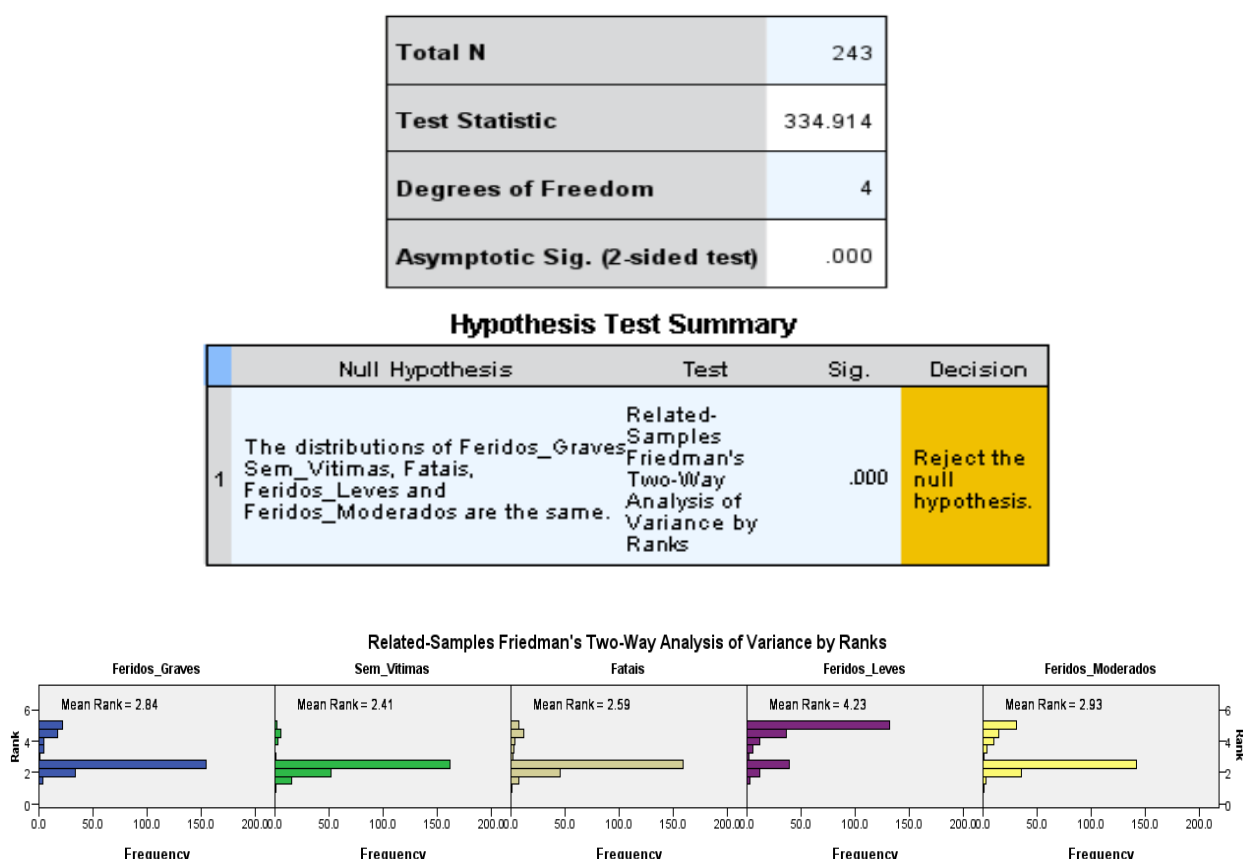
	Feridos Moderados	Feridos Graves	Feridos Leves	Sem Vítimas	Fatais
Mann-Whitney U	4090,500	3811,000	3384,000	4117,500	4127,500
Wilcoxon W	24593,500	24314,000	4245,000	4978,500	24630,500
Z	-,161	-1,124	-2,006	-,147	-,058
P	,872	,021	,045	,883	,003

Fonte: A Autora (2019).

Essas variáveis poderiam ser analisadas separadamente fazendo, por exemplo, uma análise chi-quadrado de independência, para saber o percentual de acidentes no trecho de estudo, de acordo com várias combinações (severidade, dia da semana, faixa etária, etc) mas, isso

aumentaria a chance de erros. A opção adotada foi explicar ao modelo que essas variáveis pertencem à um único conjunto com múltiplas respostas adotando o teste não-paramétrico de amostras relacionadas. O teste de Friedman mostrou que as frequências diferem de acordo com a severidade dos acidentes [$\chi^2(4) = 334,914$; $p < 0,001$]. A [Figura 17](#) mostra um exemplo da análise da frequência dos acidentes de acordo com a severidade usando o teste de *Friedman*.

Figura 17 – Resultados do Teste de não-paramétrico de *Friedman* para análise da frequência dos acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco, de acordo com a severidade



Fonte: A Autora (2019).

Os resultados das análises das combinações feitas entre as variáveis do grupo 1 foram compilados e a partir destes foram obtidas a distribuição percentual por severidade da frequência de acidentes em rodovias pista simples de Pernambuco ([Tabela 15](#)) e a distribuição percentual por tipo e severidade de acidentes em rodovias pista simples de Pernambuco ([Tabela 16](#)).

Tabela 15 – Distribuição percentual por severidade da frequência de acidentes em rodovias pista simples do estado de Pernambuco

Severidade de Acidentes	Percentual do total de acidentes em segmentos de rodovias
Fatal	3,6 %
Vítimas com ferimentos graves	10,90 %
Vítimas com ferimentos moderados	20,15 %
Vítimas com ferimentos leves	26, 88 %
Danos materiais sem vítimas	38,40 %
Total	100,00%

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 16 – Distribuição percentual por tipo e severidade de acidentes em rodovias pista simples de Pernambuco

Tipo de Acidente	Grau de Severidade		
	Acidentes com vítimas	Danos materiais	Total
Acidente envolvendo apenas um veículo			
Atropelamento de animais	3,3%	5,0%	3,8%
Atropelamento de ciclistas	0,4%	0,2%	0,3%
Atropelamento de pedestres	2,7%	7,5%	4,3%
Capotamento	9,7%	5,7%	8,3%
Saída de pista	8,7%	8,4%	8,6%
Outros	9,2%	4,5%	7,6%
Total (apenas um veículo)	34,0%	31,5%	33,0%
Acidente envolvendo mais de um veículo			
Colisão transversal	15,0%	7,2%	12,3%
Colisão frontal	9,2%	2,4%	6,9%
Colisão traseira	23,1%	35,3%	27,2%
Colisão lateral	12,6%	12,8%	12,6%
Outros	5,8%	10,6%	7,5%
Total (mais de um veículo)	65,9%	68,4%	66,7%
Total de acidentes	100%	100%	100%

Fonte: A Autora (2020).

Ainda considerando as variáveis do grupo 1, foram realizadas análises para avaliar se existia ou não dependência entre as variáveis. Foram respondidos os seguintes questionamentos:

a) se a frequência de acidentes está diretamente ligada à faixa etária; b) se o dia da semana influencia na frequência de acidentes; c) se a condição climática influencia na frequência de acidentes.

Para o grupo da faixa etária, foram consideradas três categorias: (1) entre 18 e 30 anos; (2) entre 30 e 50 anos e (3) maiores do que 50 anos. Esperava-se que os valores dos resíduos estejam de na faixa de -1,96 a 1,96. Para a faixa etária de 30 a 50 anos os resíduos são muito pequenos, ou seja, a frequência de acidentes esperada para esta faixa etária está muito próxima do valor real. Na faixa dos maiores de 50 anos o resíduo é um pouco maior (0,5), mas, ainda está próximo do esperado, enquanto que na faixa etária de 18 a 30 anos o resíduo foi de 2,7. Pode-se concluir que os jovens entre 18 e 25 anos tem uma tendência maior a se envolver em acidentes de trânsito. Os resultados das estatísticas são apresentados nas [Tabela 17](#) e [Tabela 18](#).

Para o grupo dia da semana, foram consideradas duas categorias: (1) Semana (segunda, terça e quarta) e (2) Fim de semana (quinta, sexta, sábado e domingo). Durante a semana os resíduos são muito pequenos, ou seja, ocorrem menos acidentes do que o esperado, enquanto que os fins de semana os valores dos resíduos são altos, ou seja, ocorrem mais acidentes nos fins de semana do que durante a semana. Os resultados são das estatísticas são apresentados na [Tabela 19](#).

Em relação as condições climáticas, as informações começaram a ser registradas a partir de 2016 e as classes são muito diferenciadas (sol, céu claro, chuva, nublado, neblina, etc). Essa estratificação das classes tornou as amostras muito pequenas, inferiores a 15 amostras por classe e, por esse motivo, esse grupo não foi considerado.

Em relação ao grupo 2, esperavam-se relações consistentes entre as variáveis potenciais do modelo, ou seja, o raio da curva, o comprimento da curva e o greide, parâmetros medidos neste estudo. Onde a correlação entre variáveis é alta, não há nada a ser obtido com a inclusão de ambos (raio e comprimento da curva), portanto, alguns parâmetros foram excluídos do modelo antecipadamente. A velocidade de projeto não foi considerada devido à sua correlação com o raio da curva (usado no cálculo desse parâmetro).

As variáveis estudadas no grupo 2 e algumas estatísticas relacionadas com os valores observados para as mesmas são apresentadas na [Tabela 20](#).

Tabela 17 – Análises da distribuição da frequência de acidentes por faixa etária em rodovias pista simples de Pernambuco

			Faixa Etária		
			18 de 30 anos	30 a 50 anos	Mais de 50 anos
Frequência de Acidentes	Não	Contagem	81	90	33
		Cont. Esperada	82.9	90.7	44.8
		% Frequência de Acidentes	39.7%	44.1%	16.2%
		% Faixa Etária	73.0%	75.0%	55.0%
		% of Total	29.7%	33.3%	12.1%
		Ajuste Residual	-.6	-.2	-4.0
	Sim	Contagem	30	30	22
		Cont. Esperada	21.2	29.3	20.5
		% Frequência de Acidentes	36.6%	45.5%	26.8%
		% Faixa Etária	47.6%	25.0%	36.1%
		% of Total	12.3%	11.1%	9.0%
		Ajuste Residual	2.7	.2	.5
Total		Contagem	111	120	60

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 18 – Resultados do teste Chi-quadrado para a distribuição da frequência de acidentes por faixa etária em rodovias pista simples de Pernambuco

	Valor	GL	p
Chi-Square	23.914	2	.000
N de casos válidos	270		

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 19 – Análise da distribuição da frequência de acidentes por dia da semana em rodovias pista simples de Pernambuco

			Dia da Semana	
			Semana	Fim de Semana
Frequência de Acidentes	Não	Contagem	81	90
		Cont. Esperada	73.3	97.7
		% Frequência de Acidentes	47.4%	52.6%
		% Faixa Etária	90.0%	75.0%
		% of Total	38.6%	42.9%
		Ajuste Residual	2.8	-1.7
	Sim	Contagem	9	30
		Cont. Esperada	16.7	22.3
		% Frequência de Acidentes	23.1%	76.9%
		% Faixa Etária	10.0%	25.0%
		% of Total	4.3%	14.3%
		Ajuste Residual	-4.8	3.8
Total		Contagem	111	90

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 20 – Estatísticas descritivas das variáveis estudadas no grupo 1

Variável	Unidade	Média	D.P.	Mín.	Máx.
Comprimento do trecho	m	442.43	120,83	230,71	6736.74
Comprimento da curva	m	7,95	18,61	0,00	80,00
Raio das curvas horizontais	m	801,92	1138,23	0,00	5000,00
Greide	%/m	3,22	16,19	-0,17	36,12
Largura da faixa	m	3,53	0,12	3,30	3,80

Fonte: A Autora (2020).

A análise das correlações entre as variáveis selecionadas foi realizada para verificar redundância. O Rho de *Spearman* foi usado preferencialmente ao r de Pearson devido à distribuição não normal das variáveis e as relações não lineares entre elas. O Rho de *Spearman*

converte medidas e calcula o nível de correlação entre as variáveis classificadas. Quanto mais próximo o valor de Rho é $\pm 1,00$, maior o grau de correlação entre as duas variáveis. Quando duas variáveis são fortemente correlacionadas, pode-se excluir um modelo como variável redundante.

Geralmente, havia correlações fracas entre a maioria das variáveis, como mostra a [Tabela 21](#).

Tabela 21 – Matrix de correlações entre as variáveis independentes (Rho de Spearman)

Variáveis	Largura de Faixa	Largura do acostamento	Comprimento da curva	Greide	Raio da Curva	VDMA
Largura de Faixa	1.000					
Largura do acostamento	-0.317	1.000				
Comprimento da Curva	-0.040	-0.077	1.000			
Greide	-0.002	-0.002	-0.006	1.000		
Raio da Curva	0.085	0.088	-0.228	0.003	1.000	
VDMA	0.328	-0.168	-0.170	0.000	0.164	1.000

Fonte: A Autora (2019).

As exceções foram fortes nas relações negativas entre a largura da faixa e a largura do acostamento (-0,317) e entre o raio da curva e o comprimento da curva (-0,228). A primeira correlação reflete a aplicação dos padrões de seção transversal do projeto da estrada. Não foi possível identificar com precisão o tipo de acostamento e sua largura, por isso foram considerados valores padrão utilizados pelo HSM, o que poderia justificar a forte correlação entre essas variáveis. A segunda correlação foi relacionada ao fato do raio da curva ser usado como parâmetro para o cálculo do comprimento da curva. Com base nessas fortes correlações, a largura do acostamento e o comprimento da curva foram excluídas do modelo. Para a maioria das outras variáveis foi fraca a correlação com o volume e o VDMA foi incluído no modelo, por ser considerada uma forte variável preditora.

Para determinar a melhor forma do modelo as variáveis foram adicionadas ao modelo utilizando o método *stepwise*, direção *forward*. É um procedimento automático de seleção das variáveis iniciando-se a partir de um modelo nulo e adicionando uma variável de cada vez. O modelo nulo foi um modelo base, com apenas um parâmetro que representa o mesmo valor médio μ para todas as observações y_i , no caso, os acidentes ocorridos no respectivo segmento.

A estatística de Qui-quadrado de *Wald* foi usada para testar a significância estatística do modelo geral e cada uma das variáveis independentes contidas nele. O teste indica se a inclusão de uma variável independente no modelo faz uma diferença estatisticamente significativa nas previsões de acidentes. É provável que as variáveis não significativas tenham uma relação modificadora com outras preditoras no modelo.

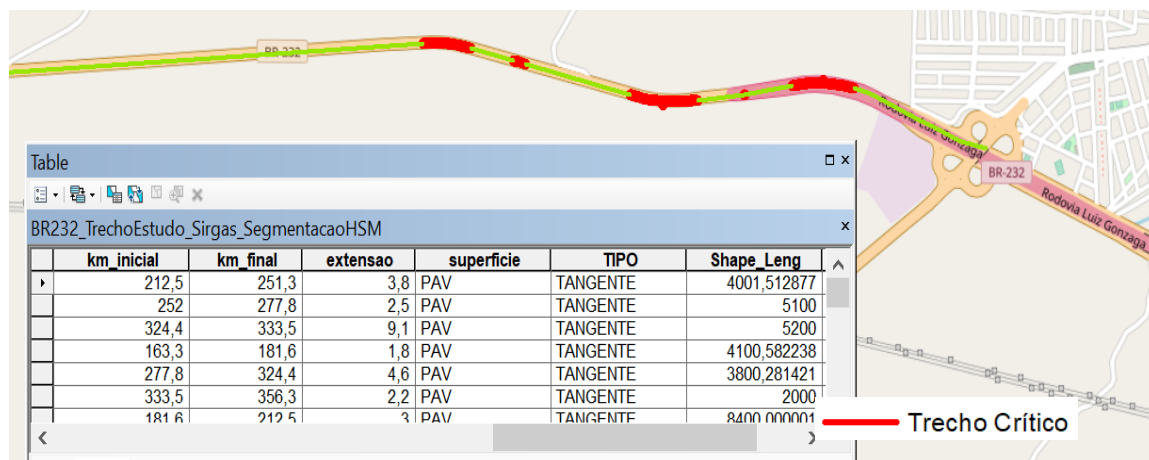
6.3 SEGMENTAÇÃO HOMOGÊNEA DA RODOVIA BR-232

A amostra de dados foi reduzida a estradas com um limite de velocidade de 80km/h, pois, esse foi o cenário mais predominante nas estradas rurais. As estradas e todas as informações associadas foram divididas em segmentos homogêneos de duas formas distintas, uma pela metodologia proposta pelo HSM e uma outra baseada na densidade de Kernel. Foram testadas três abordagens diferentes. São elas:

- a) Segmentação 1: Como sugerido pelo HSM, segmentos homogêneos usando VDMA e curvatura como variáveis explicativas;
- b) Segmentação 2: Variação do método do HSM, com VDMA constante e os dados organizados para ter em cada segmento 50m antes e 50m depois das curvas evitando ter segmentos curtos ao usar uma única curva. Essa variação no comprimento foi escolhida para minimizar o problema de localização incorreta dos acidentes em rodovias;
- c) Segmentação 3: Divisão dos segmentos baseado na densidade de Kernel e todas as variáveis usadas no procedimento *stepwise* são explicativas dentro de cada segmento com seu valor original.

Para a segmentação 1 ([Figura 18](#)), os resultados foram verificados usando uma amostra de seções de estrada homogêneas selecionadas com um comprimento mínimo de 160m. de acordo com esse critério, dos 253 trechos retos identificados, 200 foram selecionados. Para os trechos de curvas, foram selecionados 88 do total de 226, atendendo o critério de raio mínimo de 100m. Com base na expressiva redução no número de curvas, também foram realizados testes com raio mínimo de 50m, totalizando 115 trechos (Anexo A).

Figura 18 – Tabela de segmentos homogêneos HSM



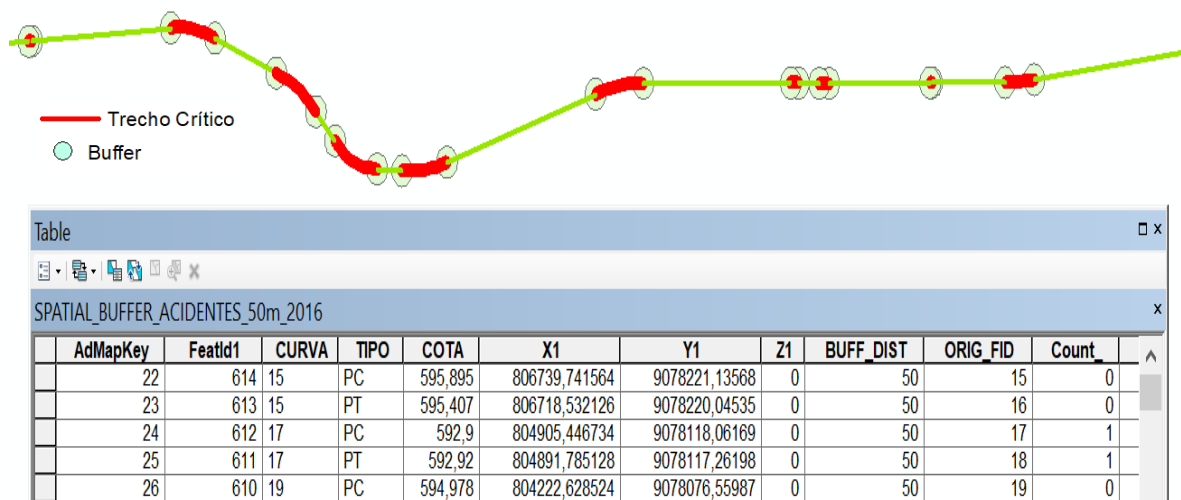
Fonte: A Autora (2019).

Para a segmentação 2, considerando uma variação da segmentação homogênea do HSM, para os trechos homogêneos contíguos às curvas foi adotado um afastamento de ao menos 50 metros, tendo por referência os pontos de início e fim de curva ([Figura 19](#)). Esta exclusão parcial dos trechos contíguos às curvas teve por objetivo isolar as influências da curva, uma vez que, na consideração do histórico de acidentes para o procedimento de calibração, se faz necessária a diferenciação dos acidentes entre trechos de curvas e tangentes, no entanto, esta diferenciação é realizada de maneira aproximada com base no km onde o acidente ocorreu. Os acidentes ocorridos nessas áreas foram somados aos seus respectivos trechos curvos.

Para segmentação homogênea considerando critérios espaciais, foram realizados agrupamentos por subtrechos em função do tipo de pista, uso do solo, tipo de terreno, traçado da pista e do greide. Por meio da ferramenta Query Builder¹ foi feita uma consulta para identificar quais são os acidentes para cada agrupamento e onde ocorreram, para todo o período de análise. Num primeiro momento, para garantir que a segmentação fosse realizada considerando as características espaciais, sem considerar a frequência de acidentes no local foi criado um Índice de Risco.

¹ Query Builder é um Construtor de Consulta desenvolvido a partir do Database Access Objects e permite que você construa uma instrução SQL em um programa e independente de banco de dados.

Figura 19 – Tabela de segmentos contíguos às curvas com um afastamento de 50m



Fonte: A Autora (2019).

Foi criado um Índice de Risco para as variáveis categóricas consideradas para a segmentação homogênea, de acordo com os resultados estatísticos. Foram estabelecidos valores, variando de 1 a 3, onde 1 é risco baixo, 2 risco médio e 3 risco alto para acidentes.

De acordo com as características mais apresentadas na literatura e suas respectivas faixas, foram estabelecidos valores, variando de 1 a 3, onde 1 é risco baixo, 2 risco médio e 3 risco alto para acidentes ([Tabela 22](#)). O índice varia de 3 a 8, onde 3 é o risco mais baixo e 8 é o mais alto. Por exemplo, um trecho de 1880m de comprimento e VDMA de 4800 vdp em declive, tem um índice de risco 5, já um trecho com um VDMA de 4800 vdp em declive que apresente uma curva de raio 500m, tem um índice de risco de 07, conforme composição apresentada na [Tabela 23](#).

Tabela 22 – Exemplo de composição do índice de risco

Variáveis	VDMA ≤ 5500 vdp	Raio da curva (m) ≤ 600	Greide (%) Negativo	Comprimento do segmento (m) ≥ 1000	Dia Fim de Semana
Valores	1	-	3	1	5
	1	3	3	-	7

Fonte: A Autora (2019).

Tabela 23 – Valores estimados para cálculo do índice de risco

Variáveis	Categorias	Valores estimados
VDMA Dong et al. (2015)	≤ 5500 vdp	1
	>5500 vdp	2
Raio da curva (m) Cruz et al. (2017)	≤ 600	3
	600 – 1500	2
	> 1500	1
Greide (%) Anastasopoulos et al. (2012)	Negativo	3
	Positivo ou zero	1
Comprimento do segmento (m) Erdogan et al. (2008)	≤ 200	1
	200-1000	2
	≥ 1000	3

Fonte: A Autora (2019).

A [Tabela 24](#) mostra a Índice de Risco para as variáveis Dia da Semana e Faixa etária.

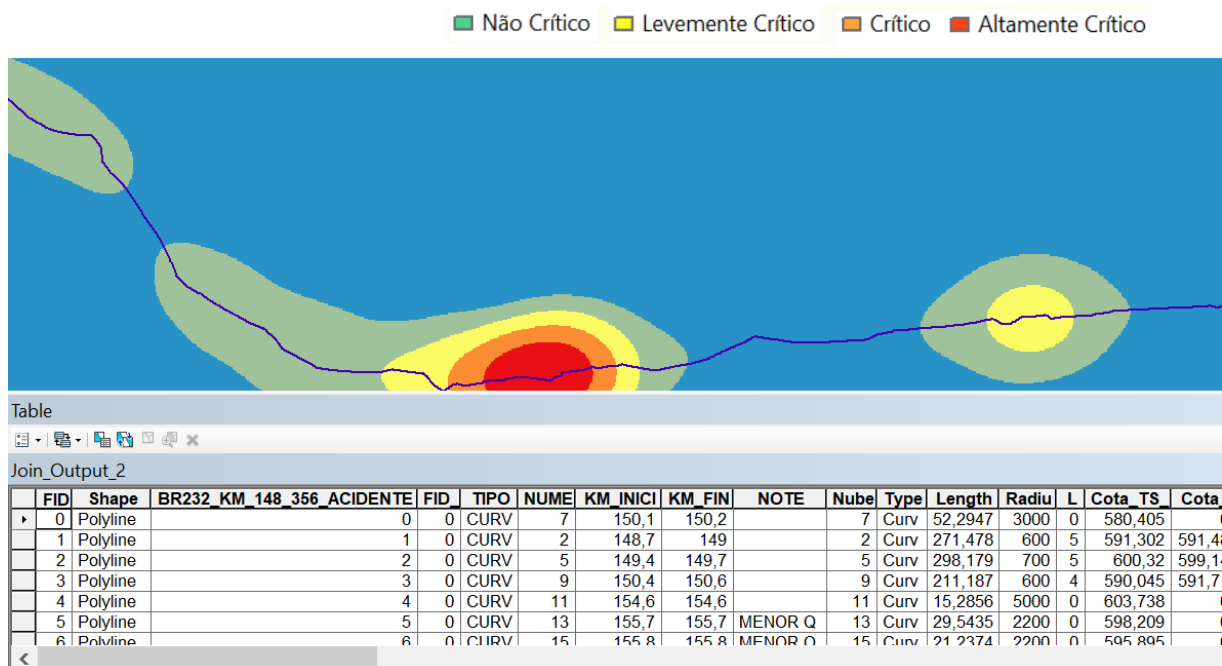
Tabela 24 – Valores estimados para cálculo do índice de risco para as variáveis categóricas Dia da Semana e Faixa Etária

Variáveis	Categorias	Valores estimados
Dia da Semana Souza e Silva (2017)	Semana	1
	Fim de Semana	2
Faixa Etária (anos) Mendonça, Silva e Castro (2017)	18 - 30	3
	30 - 50	1
	> 50	2

Fonte: A Autora (2019).

A técnica do estimador de Kernel foi aplicada com base no índice, de modo a identificar as áreas com as mesmas características espaciais, conforme [Figura 20](#). No cruzamento da variável espaciais com as variáveis geométricas, por exemplo, variáveis “traçado da pista” e “greide”, também foi aplicada a técnica do estimador de Kernel, de modo a identificar as concentrações entre os traçados da pista e a presença de aclive ou declive, verificando as diferenças de concentrações. O procedimento foi repetido considerando várias combinações de agrupamentos.

Figura 20 – Tabela de segmentos homogêneos considerando critérios espaciais



Fonte: A Autora (2019).

Após a segmentação dos trechos homogêneos, foi realizada a associação dos acidentes que se encaixavam dentro do segmento selecionado de cada rodovia. Uma amostra desses dados segue apresentados na [Figura 21](#).

Com estruturação do banco de dados foi possível comparar a distribuição da gravidade e a frequência dos acidentes nos trechos de curvas considerando a declividade do terreno no período estudado, como mostra a [Figura 22](#).

Os resultados mostram que 68% dos acidentes ocorrem em trechos de tangentes e 32% em trechos curvos, aproximadamente, no entanto, chama-se atenção para a gravidade dos acidentes. Dos acidentes ocorridos em trechos de tangente (220), 29% (64) foram graves e 9% (9) fatais contra 35% (37) e 18% (19), respectivamente, para trechos de curvas de um total de 103 acidentes ([Figura 23](#)).

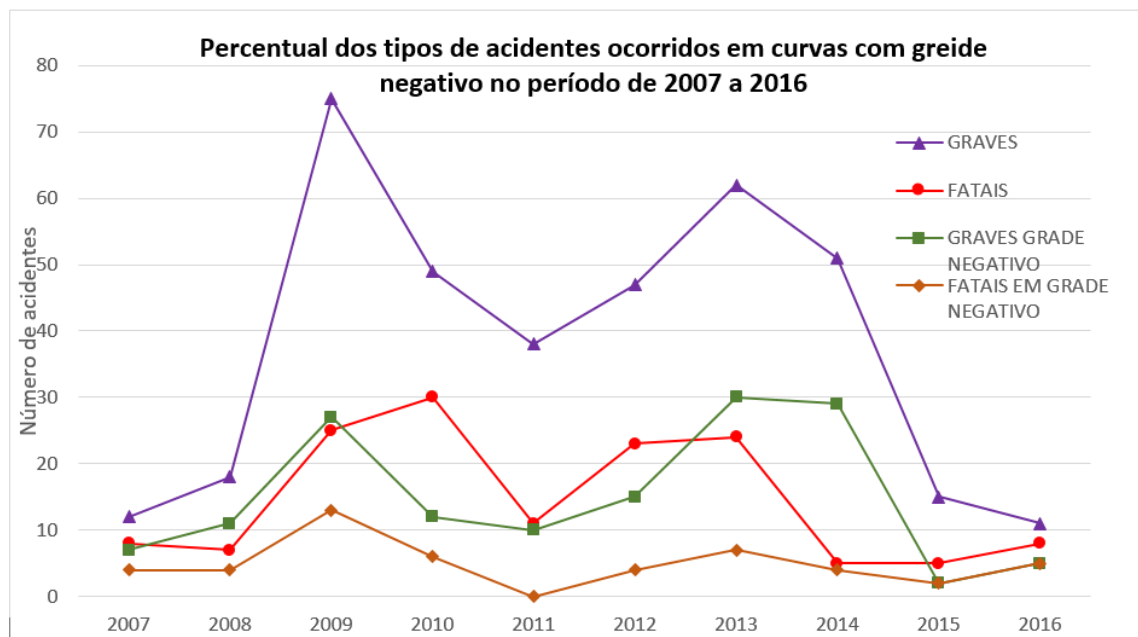
As análises também mostram que, aproximadamente, dos 41% dos acidentes em trechos curvos ocorreram em greide negativo, 40% do total foram acidentes graves, 19% fatais, enquanto que em trechos de tangente o percentual foi inferior à 1% para todos os casos ([Figura 24](#)).

Figura 21 – Tabela de dados de acidentes por segmento

DADOS DE ACIDENTES DA POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL DE 2010 - 2013								
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Número da seção	BR-232 (km)	Fluxo das Vias (2016)	FREQUÊNCIA DE ACIDENTES (2007_2016)				
				Total	Fatal	Feridos	Perda Material	Ignorado
5								
6	1	148,1	6530	16	0	5	8	3
7	2	148,7	6530	10	0	2	7	1
8	3	149	6530	23	1	2	11	9
9	5	149,4	6530	7	0	0	4	3
10	6	149,7	6530	28	4	1	15	8
11	7	150,1	6530	3	0	0	0	3
12	8	150,2	6530	3	1	0	0	2
13	9	150,4	6530	1	0	0	1	0
14	10	150,1	6530	88	8	12	42	26
15	11	154,6	6530	8	0	1	6	1
16	12	154,6	6530	19	0	1	4	14

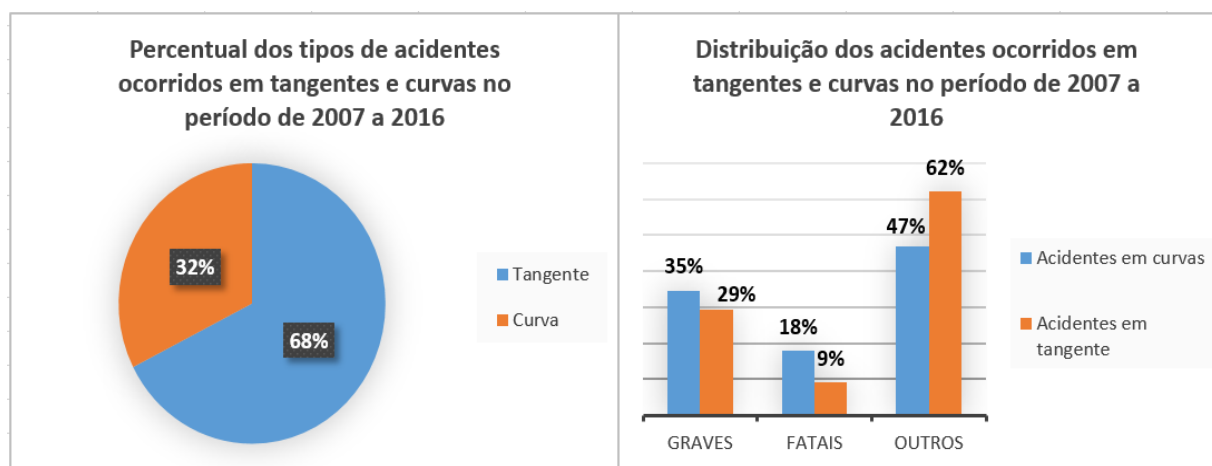
Fonte: A Autora (2019).

Figura 22 – Gráfico do percentual dos tipos de acidentes ocorridos em curvas com greide negativo no período de 2007 a 2016



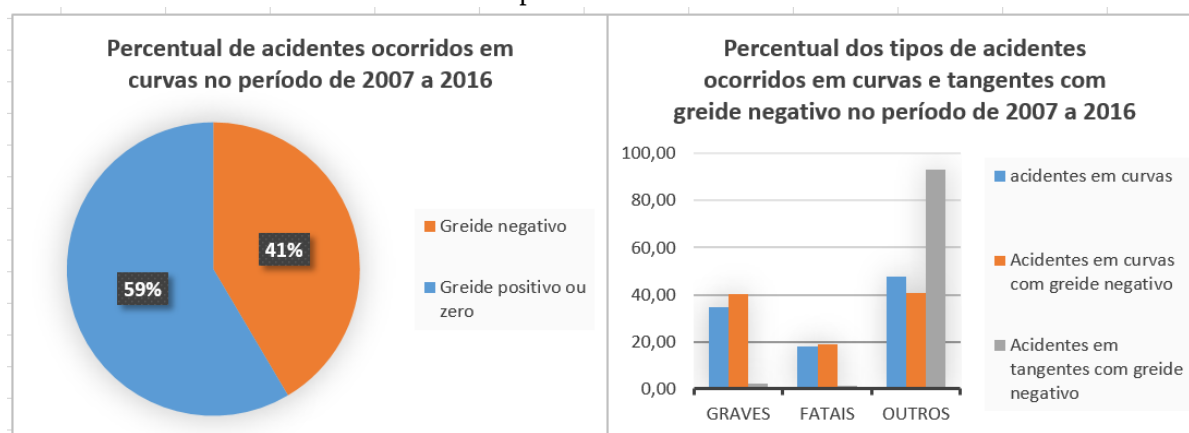
Fonte: A Autora (2019).

Figura 23 - Gráfico da distribuição dos acidentes ocorridos em tangentes e curvas no período de 2007 a 2016



Fonte: A Autora (2019).

Figura 24 – Gráfico da distribuição dos acidentes ocorridos em tangentes e curvas com greide negativo no período de 2007 a 2016



Fonte: A Autora (2019).

6.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

A elaboração do modelo, portanto, iniciou com a definição da variável independente considerada para a estimativa da frequência média de acidentes nos segmentos (retas e curvas) da amostra, considerando-se que a distribuição do erro da variável dependente é a binomial negativa. Adotou-se a forma funcional do modelo descrita no item 5.4.1.

Os modelos desenvolvidos foram calibrados por meio da técnica EEG (uma vez que os dados disponíveis são longitudinais), assumindo erros com distribuição Binomial Negativa por se tratar de dados de contagem com a presença de um grande número de observações com valor zero e, portanto, com alta dispersão. No *software* SPSS, versão 23.0.0, a realização da análise pode ser encontrada nos procedimentos: *Analyze >> Generalized Linear Models >> Generalized Estimating Equations*.

Não havia dados suficientes para construir um modelo para valores variáveis de acostamento e volume. A largura da faixa também foi constante ao longo de todo o trecho de estudo. Existe um único ponto de contagem de volume de tráfego em todo o trecho estudado, no entanto, a variável VDMA foi considerada no modelo, visto que sua importância é consolidada na literatura. Categorias variáveis foram criadas, com base em faixas fixas de valor, para melhorar o poder estatístico do modelo. Essas categorias foram definidas por tentativa e erro para obter o melhor ajuste do modelo e significância estatística das principais estimativas dos parâmetros.

Foram ajustados, então, dois modelos, com três variações correspondentes as segmentações homogêneas (1, 2, 3) para cada um dos modelos. São eles:

- a) Modelo 1- variável dependente (frequência); faixa etária, dia da semana e VDMA (variáveis categóricas); Raio, Greide, Comprimento (Covariáveis); Largura da faixa e largura do acostamento (apenas para segmentação tipo 1 e 2).
- b) Modelo 2- variável dependente (frequência); greide (variável categórica); Raio, Comprimento e VDMA (Covariáveis); Largura da faixa e largura do acostamento (apenas para segmentação tipo 1 e 2).

Para avaliar o efeito do tráfego constante, foram consideradas duas variações dos modelos 1 e 2, chamados modelos 3 e 4, com as mesmas segmentações 1, 2 e 3, onde o VDMA foi incluído como variável *offset*. Os termos do modelo foram combinados fatorialmente para que todas as combinações entre as variáveis pudessem ser avaliadas. Um resumo dos modelos estimados é descrito na [Tabela 25](#).

Tabela 25 – Resumo dos modelos estimados

Modelo	Abordagem	Variáveis	Distribuição Considerada	Estrutura de correlação
1	Para segmentos homogêneos, partindo do modelo nulo foram incluídas, uma a uma, as demais variáveis	VDMA L Raio Largura da Faixa Largura do acostamento Dia da Semana Faixa Etária Greide	Binomial Negativa	Permutável
2	Para segmentos homogêneos, partindo do modelo nulo foram incluídas, uma a uma, as demais variáveis	VDMA L Raio Largura da Faixa Largura do acostamento Greide	Binomial Negativa	Permutável
3	Para segmentos homogêneos, VDMA como <i>offset</i> foram incluídas, uma a uma, as demais variáveis	L Raio Largura da Faixa Largura do acostamento Dia da Semana Faixa Etária Greide	Binomial Negativa	Permutável
4	Para segmentos homogêneos, VDMA como <i>offset</i> foram incluídas, uma a uma, as demais variáveis	L Raio Largura da Faixa Largura do acostamento Greide	Binomial Negativa	Permutável

Fonte: A Autora (2019).

Foram observadas as significâncias dos coeficientes dos parâmetros e também a deviance, para se analisar se a variável era significativa para o modelo. Com o QIC foram avaliadas as estruturas de correlação e com o CURE *Plot* foi selecionado o melhor modelo global. Utilizou-se o nível de significância de 5% e assim as variáveis que apresentaram p-valor superior a 5% foram consideradas não significativas. Na análise da deviance foi utilizado a Distribuição de Qui-quadrado com 5% de significância. Dessa forma, se a contribuição da variável na deviance fosse inferior a 1,96, a variável não deveria ser incluída no modelo.

Ao se acrescentar as variáveis Largura da faixa e Largura do acostamento não foram obtidos resultados satisfatórios em ambos os modelos. No modelo testado, nos dois casos o

parâmetro associado às variáveis Largura da faixa e Largura do acostamento não foi estatisticamente significativo para $\alpha=5\%$.

Este resultado pode estar relacionado com os valores constantes para todos os elementos da amostra. Os resultados da calibração do modelo 1, 2, 3 e 4 são apresentados nas [Tabela 26](#), [Tabela 27](#), [Tabela 28](#) e [Tabela 29](#). As diferenças no sinal dos coeficientes podem indicar, dependendo da segmentação, uma influência oposta da variável sobre a número esperado de acidentes estimados pelo modelo.

Tabela 26 – Parâmetros estimados, valores de p e DP do Modelo 1 para diferentes segmentações

	Segmentação 1	Segmentação 2	Segmentação 3	Segmentação 3 (ajustada)
Intercepto	-3.820 (<.0001) 1.6127	6.240 (0.0003) 1.9789	6.392 (<.0001) 1.3723	5.030 (<.0001) 1.4557
VDMA	-0.96 (0,230) 0.1577	0.028(0.0233) 0.04422	1.4003 (<.0001) 0.1198	0.520 (0,230) 0.1341
L	-0.475 (0,227) 0.0455	0.326 (0,200) 0.9718	0.702 (<.0001) 0.0278	0.736 (0,977) 0.0133
Raio	-0.011 (0.0054) 0.0189	0.280 (0,941) 1.2216	0.211 (0.0003) 0.0122	0.008 (0.402) 0.0105
Largura da faixa	0.1423 (0.00 10) 0.1245	1.8788 (0.0172) 0.0123		
Largura do acostamento	1.049 (0,0749) 0.1522	1.164 (0.0500) 1.1156		
Dia da Semana	0 -0.249	0 0,383	0 0.710(0,524)	0 0.670 (0,678)
Faixa Etária	0,314 -0.120 0	0.172 0.024 0	0.967 (0,730) 0,172 (0,908) 0	0.227 (0,200) -0.340 (0,814) 0
Greide	-0.060 (0.0015) 0.1756	0.0342 (<0.0001) 0.2716	-0.3320 (0.0001) 0.1595	0.320 (0.527) 0.0322
QIC	19427,12	3247,23	2474,16	971.43

Número de observações na base de dados = 428

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 27 – Parâmetros estimados, valores de ρ e DP do Modelo 2 para diferentes segmentações

	Segmentação 1	Segmentação 2	Segmentação 3	Segmentação 3 (ajustada)
Intercepto	-15.2239 (<.0001) 1.7233	-8.1931 (0.0003) 1.5799	-15.2277 (<.0001) 1.9456	-17.2512 (<.0001) 1.032
VDMA	1.3072 (<.0001) 0.9978	0.7289 9 (0.0233) 1.241	1.4003 (<.0001) 1.092	1.3997 (<.0001) 0.0255
L	-0.232 (0.328) 0.0022	0.328 (0,118) 0.3421	0.211 (0,0003) 0.4467	1.472 (<.0001) 0.0023
Raio	508.331 (0.0054) 0.0342	-931.75 (0.0273) 0.0122	0.2111 (0.0003) 0.0342	284.2822 (0.0037) 0.0112
Largura da faixa	0.1423 (0.00 10) 0.0342	1.8788 (0.0172) 0.9711		
Largura do acostamento	3.1423 (0.00 10) 0.0034	-3.0280 (0.0500) 0.0017		
Greide	0.0076 (0.0015) 0.0678	0.0342 (<0.0001) 0.0774	-0.3320 (<0.0001) 0.0227	0.0041 (0.0008) 0.0129
QIC	4226,10	2321.33	5310,22	600,30

Número de observações na base de dados = 428

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 28 – Parâmetros estimados e valores de ρ do Modelo 3 para diferentes segmentações

	Segmentação 1	Segmentação 2	Segmentação 3	Segmentação 3 (ajustada)
Intercepto	-4,9712 (0.001) 1.4503	-11.6339 (0.0020) 2.5998	-7.4989 (0.001) 2.0095	-4.3113 (<.0001) 1.5015
L	-0,2861 (0,017) 0.0889	0,3998 (0,1980) 0.0981	0,3968 (0.001) 0.1185	0.2472 (0,977) 0.0906
Raio	-90.6663 (0.022) 39.0627	0,7796 (0,9918) 0.4249	0.3160 (0.011) 0.1257	0.7349 (0.402) 0.2232
Largura da faixa	0,6927 (0.0041) 0.2209	0.3434 (0.0172) 0.1125		
Largura do acostamento	0.0413 (0,0829) 0.0088	1,2743 (0.0690) 0.2274		
Dia da Semana	0 -0,518	0 0,453	0 0.718 (0,526)	0 0.720 (0,528)
Faixa Etária	0,619 -0,232 0	0,322 0,044 0	0.683 (0,5200) 0,234 (0,878) 0	0.442 (0,248) -0.284 (0,927) 0
Greide	-0,597 (0.0435) 0.8430	0.0277 (0.009) 0.0106	-0.2566 (0.037) 0.0123	0.3101 (0.726) 0.3929
QIC	24456,28	12428,16	5927,13	2822,14

Número de observações na base de dados = 428

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 29 – Parâmetros estimados e valores de ρ do Modelo 4 para diferentes segmentações

	Segmentação 1	Segmentação 2	Segmentação 3	Segmentação 3 (ajustada)
Intercepto	-12,9435 (<.0001) 2.5355	-8.7422 (0.001) 1.7090	-7.5992 (0.001) 1.8989	-12.2009 (<.0001) 2.9594
L	0,3987 (0,010) 0.0966	0.3998 (0,001) 0.0936	0.3219 (0,003) 0.1119	0,4772 (<.0001) 0.1127
Raio	1,2715 (0.004) 0.4407	0.2229 (0.043) 0.1042	0.4993 (0.003) 0.1737	1.2982 (0.0039) 0.5127
Largura da faixa	0.2898 (0.006) 0.1069	0.0209 (0.036) 0.0106		
Largura do acostamento	3.0014 (0.010) 0.0103	-3.0010 (0.050) 0.1327		
Greide	0.02883 (0.034) 0.0106	0.1527 (0.007) 0.1521	-0.2121 (0.0003) 1.1197	0.3291 (0.011) 0.1302
QIC	14844,37	7827,16	6424,12	1973,22

Número de observações na base de dados = 428

Fonte: A Autora (2020).

A escolha da matriz de correlação de trabalho representa a dependência intraindividual. Uma melhor estrutura deve ser buscada usando como critério o menor *Quasi Likelihood Under Independence Model Criterion* (QIC). Os valores de QIC encontrados ajustando os modelos 1, 2, 3 e 4 com outras matrizes de correlação são descritos nas [Tabela 30](#), [Tabela 31](#), [Tabela 32](#) e [Tabela 33](#):

Tabela 30 – Valores de QIC ajustando o modelo 1 com outras estruturas de correlação

	Segmentação 1	Segmentação 2	Segmentação 3	Segmentação 3 (ajustada)
Permutável	19427,12	3247,23	2474,16	971.43
Independente	22319,77	3441,29	2929,17	797,99
AR(1)	24212,67	3835,33	3003,22	1098,22
Não-Estruturada	24832,02	3913,88	3567,19	2756,34

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 31 – Valores de QIC ajustando o modelo 2 com outras estruturas de correlação

	Segmentação 1	Segmentação 2	Segmentação 3	Segmentação 3 (ajustada)
Permutável	4226,10	2321,33	5310,22	600,30
Independente	4231,70	4428,22	5397,27	1736,97
AR(1)	6969,90	8885,72	6211,12	1798,72
Não-Estruturada	9444,12	9144,90	6474,16	2224,18

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 32 – Valores de QIC ajustando o modelo 3 com outras estruturas de correlação

	Segmentação 1	Segmentação 2	Segmentação 3	Segmentação 3 (ajustada)
Permutável	24456,28	12428,16	5827,13	2822,14
Independente	24731,76	14323,29	5944,22	2939,99
AR(1)	25694,43	13825,14	5922,47	3495,88
Não-Estruturada	29675,14	19222,74	7282,19	4322,15

Fonte: A Autora (2020).

Tabela 33 – Valores de QIC ajustando o modelo 4 com outras estruturas de correlação

	Segmentação 1	Segmentação 2	Segmentação 3	Segmentação 3 (ajustada)
Permutável	14844,37	7827,16	6424,12	1973,22
Independente	14931,12	8622,27	6528,12	1995,43
AR(1)	15786,44	9528,77	6599,32	1998,52
Não-Estruturada	18767,67	9812,22	6896,19	1999,34

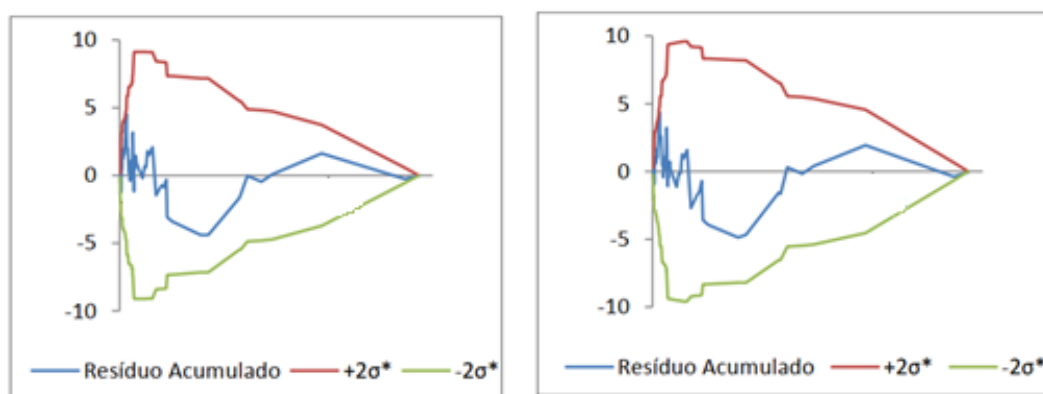
Fonte: A Autora (2020).

Pode-se observar que de acordo com o parâmetro QIC, os modelos gerados apresentaram a estrutura de correlação permutável como a que melhor se adapta aos dados longitudinais. Com esta estrutura de correlação pode-se afirmar que as correlações entre quaisquer duas observações dentro de um grupo são constantes. A segmentação 3 ajustada ofereceu o melhor resultado em

todos os modelos, no entanto, a maioria dos parâmetros não foram significativamente estatísticos ($p > 0,05$).

Os gráficos *CURE Plot* dos modelos elaborados são apresentados nas [Figura 25](#) e [Figura 26](#). Nos modelos 1 e 2 é possível observar que a curva dos resíduos acumulados oscila em torno de 0 e não cruza os limites superiores e inferiores nos, portanto, eles são considerados aceitáveis. Nos modelos 3 e 4 a curva de resíduos acumulados oscila em torno de 0 mas ultrapassa o limite superior. Logo, o melhor modelo de previsão dos acidentes é o modelo 2 uma vez que apresentou o menor valor de QIC (600,30).

Figura 25 – *CURE Plot* para os modelos desenvolvidos (1 e 2)

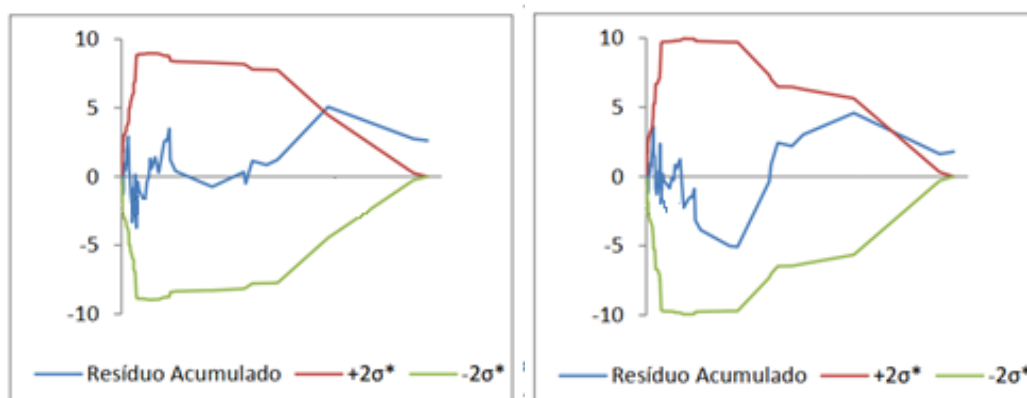


(a) Modelo 1

(b) Modelo 2

Fonte: A Autora (2020).

Figura 26 – *CURE Plot* para os modelos desenvolvidos (3 e 4)



(a) Modelo 3

(b) Modelo 4

Fonte: A Autora (2020).

Os resultados obtidos na validação demonstram que, o melhor modelo para a previsão de acidentes é o modelo 2, pois a variação da raiz do erro quadrático médio do ajuste do modelo (Δ RMSE) encontra-se mais próxima de zero, com o valor de -0.082 (Tabela 34).

Tabela 34 – Parâmetros de validação dos modelos

Modelos	Validação		Ajuste	Δ RMSE
	Média	RMSE	RMSE	
1	0.807	0.973	1.101	-0.082
2	0.843	1.156	1.168	-0.112
3	0.799	1.112	1.472	-0.173
4	0.873	1.114	1.267	-0.129

Fonte: A Autora (2020).

Vale a pena ressaltar que os parâmetros obtidos para as variáveis Dia da Semana e Faixa Etária corroboram com os valores encontrados nas simulações para a escolha das variáveis. Tomando como referência a faixa etária dos maiores de 50 anos, os jovens entre 18 e 30 anos tem 22,7% mais chances de se envolver em acidentes fatais enquanto que os adultos entre 30 e 50 anos tem 34% menos chances de se envolver em acidentes. Nos fins de semana a chance da ocorrência de acidentes é 67% maior do que durante a semana.

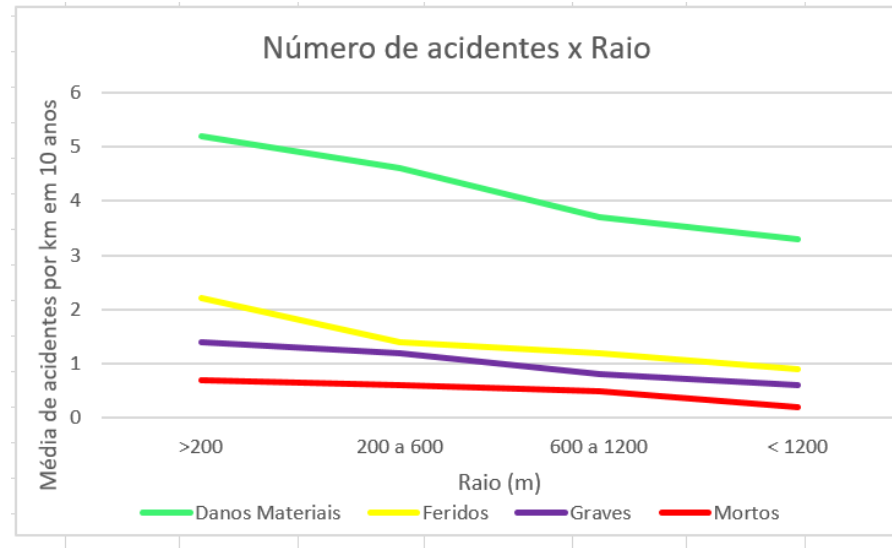
Para a Segmentação 1, baseada no HSM, as variáveis selecionadas tem erros padrão maiores do que os selecionados para outras abordagens de segmentação. Provavelmente porque, nas rodovias, o segmento homogêneo muda apenas nas interseções, portanto, essa abordagem de segmentação pode produzir segmentos muito longos, com um número excessivo de segmentos com zero acidentes e com consideráveis variação dentro do segmento nas outras variáveis que não podem ser modeladas adequadamente.

Para o modelo estimado para a Segmentação 2, que é alcançada através da inserção de 50m antes do início e no final de cada curva os resultados também foram significativos, no entanto, tendem a subestimar o número de acidentes para valores baixos de VDMA e superestimar acidentes para valores mais altos de VDMA.

Inicialmente, a segmentação que deu os piores resultados no número de variáveis que podem ser incluídas no modelo foi o da segmentação 3, na qual todas as variáveis são explicativas em cada segmento. Por isso categorias de variáveis foram criadas, com base em faixas fixas de valor, para melhorar o poder estatístico do modelo (Figura 27). Essas categorias

foram definidas por tentativa para obter o melhor ajuste do modelo e significância estatística das principais estimativas dos parâmetros.

Figura 27 – Exemplo de categoria criada para análise com base em faixas fixas de valores



Fonte: A Autora (2019).

Finalmente, o modelo EEG foi definido para prever a ocorrência de acidentes no segmento considerando as variáveis VDMA, raio da curva, comprimento do segmento e greide, como mostra a [Equação 20](#):

$$\mu_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 AADT + \beta_2 R + \beta_3 Greide + \beta_4 L + \varepsilon)} \quad (20)$$

Em que:

μ_i = frequência de acidentes previstos por ano

β_0 = intercepto e $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ e β_4 = parâmetros

R = Raio da curva (m) e L = comprimento do segmento (m)

$Grade$ = Greide (negativo, positivo ou zero)

ε = termo de erro

A [Tabela 35](#) mostra os efeitos do modelo de todas as variáveis independentes. As categorias de variáveis não tem valor absoluto, antes eles definem o valor da estimativa do

parâmetro (β_n na coluna 3). O expoente do parâmetro estimado (e^{β_n} na coluna 5) pode ser interpretada como uma forma de valor de risco relativo para qualquer categoria de variável declarada. Isso significa que as seguintes interpretações podem ser feitas com base em cada uma das variáveis, considerando que todas as outras variáveis do modelo foram mantidas constantes.

Tabela 35 – Parâmetros estimados e efeitos do modelo preditivo binomial negativo log-linear

Variáveis	Categorias	Parâmetro estimado (β_n)	Parâmetro do erro estimado	Expoente do parâmetro estimado (e^{β_n})	Significância estatística (Teste de Wald)
Intercepto		-7,249	0,525	0,003	$p \leq 0.001$
VDMA	≤ 5500 vdp	-0.605	0.134	0.546	$p \leq 0.001$
	>5500 vdp	0,000	-	1,000	-
Raio da curva (m)	≤ 600	1,163	0,314	3,200	$p \leq 0.001$
	600 – 1500	0,539	0.203	1,716	$p \leq 0.01$
	> 1500	0,000	-	1,000	-
Greide (%)	Negativo	0,470	0,428	1,600	$p \leq 0.05$
	Positivo ou zero	0,000	-	1,000	-
Comprimento do segmento (m)	≤ 200	0,423	0,501	1,527	$p \leq 0.001$
	200-1000	0,930	0.167	1,213	$p \leq 0.05$
	≥ 1000	0.788	0.144	2,200	$p \leq 0.01$

Fonte: A Autora (2020).

Apesar da recomendação da norma do Manual do DNIT (2010) que estabelece para Classe de projeto I, velocidade de 80km/h, raios mínimos entre 210 e 280 metros considerando superelevação entre 4 e 10%, respectivamente, foram encontrados 17% de curvas com raios inferiores à 200m.

O estudo também mostra que curvas com raio menor ou igual a 600m tem 3,2 mais chances de acidentes do que em curvas com raio superior a 2200 m (relativamente reto) e seções de estrada em declive, greide negativo tem uma probabilidade de colisão 1,6 vezes maior que as

seções de estrada em aclave, greide positivo ou zero. Trechos de tangentes maiores que 1000m em declive, seguidos de curvas, tem uma probabilidade de acidentes 2,2 vezes maior.

A [Equação 20](#) foi resolvida para todas as categorias de variáveis no modelo. O valor médio da taxa de acidentes com vítimas em trechos curvos por quilômetro foi baixo: 0,048.

Isso reflete a baixa frequência de acidentes nesses trechos, entretanto, as causas podem estar relacionadas ao baixo fluxo de tráfego nas estradas rurais, ao fato de existir um único ponto de coleta de dados de tráfego no trecho estudado ou ainda a subnotificação desse tipo de acidente. Portanto, foi mais significativo apresentar os resultados do modelo a partir da combinação de características da estrada, incluindo os raios das curvas. Para a média da amostra de 0,048 acidentes por km foi definido o valor 1,0.

Para melhor visualização dos dados foi aplicado um código de cores: verde representa o valor previsto de acidente com vítimas abaixo da média da amostra (menor que 1,0), amarelo são cenários com risco entre a média e o dobro da média (entre 1 e 2), laranja representa cenários em que o risco é duas a três vezes o valor médio (2 e 3). A cor vermelha representa uma condição de risco extremo em que o valor previsto de colisão foi mais de três vezes a média da amostra. A [Tabela 36](#) mostra mudanças no nível previsto do risco de acidentes em curvas com base no valor previsto.

A partir desses resultados, pode-se concluir que raios entre 600 e 1500 metros devem ser preferidos em todos os cenários para projetar as novas estradas para reduzir a frequência de acidentes em curvas devido aos mais baixos níveis de risco relativo. Os resultados também mostram trechos longos em greide negativo seguidos de curvas com raios menores do que 600m é o cenário que oferece um maior risco de acidentes. Se as rodovias com raios inferiores a 600m fossem convertidos em rodovias na categoria de raios maiores do que 600, os acidentes com vítimas em curvas diminuiriam em cerca de 18%. Rodovias com raios menores do que 600m e com greide negativo teriam uma redução de 27%. Com os resultados modelo e dos números do histórico de acidentes nos segmentos analisados, foi realizado o procedimento de calibração dividindo-se o valor total real e o valor previsto calculado. O valor obtido foi de 2,35 para Segmentação 1 e 1,75 para a Segmentação 3.

Tabela 36 – Mudanças no nível previsto do risco de acidentes em curvas

Raio da Curva (m)	Greide (%)	Comprimento do segmento (m)	VDMA (vdp)	
			≤ 5500	> 5500
≤ 600	Negativo	< 200	2,69	3,25
		200-1000	1,53	1,85
		>1000	2,71	3,28
≤ 600	Positivo	< 200	1,09	1,33
		200-1000	0,62	0,75
		>1000	1,10	1,34
600-1500	Negative	< 200	1,29	1,56
		200-1000	0,73	0,89
		>1000	1,30	1,57
	Positivo	< 200	0,52	0,64
		200-1000	0,30	0,36
		>1000	0,53	0,64
>1500	Negative	< 200	0,61	0,74
		200-1000	0,35	0,42
		>1000	0,62	0,75
	Positivo	< 200	0,25	0,30
		200-1000	0,14	0,17
		>1000	0,25	0,31

Fonte: A Autora (2020).

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Brasil ocupa o quinto lugar em mortes por acidentes de trânsito, segundo as Nações Unidas. Para reduzir esse número, são necessárias ações efetivas de gerenciamento da segurança viária. Essa gestão depende de muitos fatores associados aos acidentes e os locais onde ocorrem. Para isso, a base geométrica da estrada é indispensável. No entanto, a maioria dos municípios brasileiros não possui mapas. Essa realidade é ainda pior no Nordeste brasileiro e nas áreas rurais, devido à dificuldade de acesso e ao alto custo do mapeamento por métodos tradicionais ou pelo uso de imagens de satélite de alta resolução.

Em contrapartida, nas rodovias rurais pista simples, que foi o foco desta tese, observou-se que além dessas áreas concentrarem o maior número de acidentes fatais, principalmente nas curvas, a falta de dados precisos muitas vezes impede o uso de metodologias internacionais consolidadas para análise da segurança e proposição de melhorias significativas que possam contribuir com a redução efetiva de acidentes de trânsito e redução dos custos de mapeamento.

Analisando essa questão, a estruturação do banco de dados através de um SIG, concentrou-se na utilização dos dados dos acidentes, comparados através dos tipos de acidentes ocorridos, das taxas de acidentes, dos índices de acidentes, da situação dos envolvidos, das condições climáticas, dos veículos e em relação ao período referenciado. Ao tentar unir os dados de acidentes e rodovias, ocorreu um problema na maneira como os dados estavam organizados. Os dados de acidentes e rodovias são representados em sistemas diferentes. Os dados de acidentes utilizavam o número do quilômetro aproximado onde ocorreu o acidente e os dados da estrada usam números do inventário do DNIT com base na quilômetro inicial e final da rodovia. Portanto, sua estrutura buscou visualizar os parâmetros geométricos, principalmente das curvas, não apenas através de projetos que nem sempre refletem a realidade construída, mas, através de processos semi-automatizado proposto nesse estudo combinando diversas bases disponíveis e atuais.

Ao abordar esses conceitos esta tese buscou entender melhor qual a influência das características geométricas da via (curva horizontal) sobre a segurança do tráfego através de uma metodologia para predição de acidentes em rodovias rurais pista simples focando no efeito das curvas horizontais através do uso do SIG.

Em geral, a classificação das imagens por si só não atendeu às necessidades dos modelos de segurança viária, onde é importante reconstruir e identificar com precisão os elementos da rede viária (segmentos retos, segmentos curvos, raio de curvas, etc.) para posterior associação com dados do acidente (localização, tipo de acidente, condições climáticas, entre outros). Quanto as bases de rodovias do DNIT, o principal problema encontrado inicialmente foi a segmentação das curvas que o programa *Autocad Civil 3D* forneceu. Nesse programa, uma curva foi classificada como tendo múltiplos pontos iniciais e finais, criando a aparência de várias curvas de comprimento variável, não refletindo a realidade do local. Portanto, para responder à questão de como desenvolver uma base de dados para associar os registros de acidentes aos parâmetros geométricos da rodovia e preencher as lacunas deixadas pela ausência de projetos geométricos através da reconstituição geométrica ou extração semiautomática de rodovias através de imagens de satélites, foram necessárias técnicas de geoprocessamento para elaborar adequadamente essas bases.

A metodologia proposta neste estudo para identificar e extrair estradas de imagens de satélite de baixa resolução, usando processamento digital e reconhecimento de padrões, produziu resultados com um bom nível de precisão. Os piores resultados foram encontrados em estradas não pavimentadas e solo exposto. Outras técnicas de geoprocessamento, como redução do número excessivo de vértices, reconstrução de elementos curvos e suavização dos segmentos foram utilizadas para melhorar a qualidade geométrica da base de rodovias.

Sobre a questão de como realizar segmentação dos trechos com características geométricas similares (trechos homogêneos) considerando o impacto das relações espaciais na segurança da curva horizontal, três diferentes abordagens de segmentação foram avaliadas com duas variações do modelo. Uma abordagem baseada no método HSM usando curvatura e VDMA como base, uma considerando uma variação da segmentação homogênea do HSM, para os trechos homogêneos contíguos às curvas adotando um afastamento de 50 metros, tendo por referência os pontos de início e fim de curva e uma baseada na densidade de Kernel com todas as variáveis constantes em cada segmento em relação ao seu valor original. Comparando os resultados da segmentação homogênea entre as abordagens do mapa de Kernel e os métodos estatísticos, os resultados são coerentes. Esse resultado já era esperado uma vez que ambos os métodos trabalham com a média da severidade em cada acidente. O estimador de Kernel mostrou uma menor complexidade e menor quantidade de etapas a serem seguidas para a obtenção das

respostas, no entanto, possui uma maior sensibilidade aos dados de entrada, sendo a localização espacial precisa uma condição essencial para bons resultados. A estruturação do banco de dados, a automatização do processo e sua resposta visual facilitou a interpretação dos resultados.

A segmentação de comprimento fixo (Segmentação 1) pode ser a mais flexível em aplicações práticas porque o comprimento do segmento pode ser determinado pela disponibilidade e qualidade dos dados, no entanto, os melhores resultados foram obtidos para a Segmentação 3 (ajustada), baseada na densidade de kernel para faixas fixas de valores das variáveis. Isso comprova o fato de que segmentos muito curtos colaboram para a identificação não perfeita da localização dos acidentes e em um grande número de segmentos com zero acidentes, o que compromete a utilização dos modelos estatísticos tradicionais.

A constatação de que a segmentação homogênea baseada no estimador de Kernel oferece bons resultados mostra que é possível realizar uma hierarquização e estabelecer quais são as características geométricas que tem maior influência na ocorrência e severidade dos acidentes de trânsito nas rodovias rurais pista simples brasileiras.

Diante desses dados apresentados, pode-se tentar responder à questão central proposta nesta tese: quais são as características geométricas (variáveis) das rodovias rurais pista simples brasileiras que afetam a segurança do tráfego? A modelagem estatística resultou em um modelo de previsão de acidentes estatisticamente significativo para curvas, com base em várias variáveis chave do projeto de estradas. O modelo ressalta a necessidade de curvas mais amplas em estradas rurais não divididas e quantifica as reduções de risco de colisão que podem ser esperadas para aumentos incrementais nos raios das curvas.

Para as bases de dados estudadas, os resultados mostraram que para o tamanho da amostra considerado, 428 observações, os modelos foram capazes de capturar os fatores significativos que contribuem para as frequências de acidentes observados. Esses fatores foram o volume de tráfego (VDMA), raio da curva horizontal, greide e o comprimento do trecho. Como estes fatores resultam em coeficientes positivos nos modelos, que são aceitáveis, quando eles aumentam, é razoável esperar que a frequência de acidentes também aumente. A aplicação do procedimento EEG mostrou que a estrutura de correlação correspondente foi a permutável.

De acordo com os gráficos *CURE Plot* os modelos 1 e 2 são considerados aceitáveis. Nos modelos 3 e 4 a curva de resíduos acumulados oscila em torno de 0, mas, ultrapassa o limite superior. Os resultados obtidos na validação demonstram que, o melhor modelo para a previsão

de acidentes é o modelo 2, pois a variação da raiz do erro quadrático médio do ajuste do modelo ($\Delta RMSE$) encontra-se mais próxima de zero, com o valor de -0.082.

Esse modelo pode ser usado para fornecer informações sobre futuras revisões das diretrizes de seleção de parâmetros das curvas, com base nos principais parâmetros do projeto da estrada e disponíveis no banco de dados brasileiro. Os resultados da modelagem podem ser usados para a seleção de curvas, com base na redução do risco de acidentes em curvas.

A pesquisa produziu indicadores claros dos parâmetros de projeto das rodovias que influenciam o desempenho da segurança das rodovias rurais. Os expoentes das estimativas de parâmetros foram estatisticamente significativos em $p \leq 0,1$ e a maioria foi significativa em $p \leq 0,05$. Embora a taxa de acidentes em curvas por quilômetro tenha sido baixa, o modelo ressalta a gravidade dos acidentes nesses trechos. Concluiu-se que raios entre 600 e 1500 metros devem ser preferidos em todos os cenários para projetar as novas estradas para reduzir a frequência de acidentes em curvas devido aos mais baixos níveis de risco relativo. Os resultados também mostram trechos longos em greide negativo seguidos de curvas com raios menores do que 600m é o cenário que oferece um maior risco de acidentes. Se as rodovias com raios inferiores a 600m fossem convertidos em rodovias na categoria de raios maiores do que 600, os acidentes com vítimas em curvas diminuiriam em cerca de 18%. Rodovias com raios menores do que 600m e com greide negativo teriam uma redução de 27%.

Uma das vantagens desse modelo foi considerar a tendência temporal. Em geral, o período de análise depende da disponibilidade de dados de tráfego e dados de acidentes, mas, na literatura, numerosos estudos mostraram que períodos mais longos 5 anos poderiam introduzir viés no modelo matemático para as variáveis espaciais, ligadas à localização na rede e ou a tendência do tempo natural. O procedimento EEG incorpora a tendência temporal, portanto, é adequado para modelagem de dados por longos períodos.

A realização desta pesquisa permitiu constatar que as estradas rurais do estado de Pernambuco ainda são 3,3 vezes mais propensas a acidentes com mortes do que em vias urbanas. Cerca de 58% dos acidentes fatais em estradas, ocorrem em curvas horizontais, de acordo com a inspeção visual para preenchimento dos boletins, o que significa que esse número pode ser maior.

Diante desse quadro, é possível confirmar a hipótese de que é possível desenvolver uma metodologia para avaliar e analisar impacto que a geometria da via (curva horizontal) impõe no aumento no número e na severidade de acidentes em rodovias rurais pista simples e esta pode ser

modelada através da combinação de modelos estatísticos tradicionais e análises espaciais para predição de acidentes utilizando SIG

A análise apresentada representa um passo importante para a revisão das diretrizes de projetos de curvas. Uma abordagem para o projeto de curvas com base no gerenciamento de resultados de acidentes pode envolver a definição de um acréscimo nos valores dos raios e nos trechos de transição para a meta de segurança de acidentes em curvas. Por exemplo, dado um conjunto de restrições de VDMA, curvatura e classificação do uso do solo, um projetista pode manipular uma faixa de raios para chegar à uma solução otimizada com menor custo e menor risco de colisão. Ressalta-se que qualquer iniciativa de melhoria baseada nos resultados do modelo precisa estar sujeita a uma avaliação econômica completa de opções alternativas, monitoramento do desempenho de acidentes e avaliação pós-implementação.

Conclui-se que, de acordo com a experiência internacional, existem muito mais variáveis que podem ser usadas para calibrar modelos sofisticados, que têm suas próprias vantagens e desvantagens. Um modelo de previsão de acidentes com mais variáveis pode ajudar-nos a entender melhor como esses fatores influenciam e descrevem a segurança nas rodovias. No entanto, a inclusão de muitas variáveis em um modelo pode torná-lo instável e terá um desempenho ruim quando aplicado à uma nova amostra. A pesquisa atingiu seu objetivo ao criar um modelo mais simples que ajude a melhorar gestão de segurança rodoviária.

Considera-se como um ponto de partida fazer ações semelhantes e estudos mais detalhados para outras categorias de rodovias e outras variáveis. Como pesquisas futuras pretende-se expandir a área de análise e aplicar a metodologia em outras regiões com características similares ao nordeste brasileiro e de outros países em desenvolvimento, não para transferibilidade do modelo, mas, para adequação do modelo e variáveis de interesse no âmbito regional e posterior adequação no âmbito nacional.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE AND HIGHWAY - AASHTO - **Transportation Officials**. Highway Safety Manual, Washington, EUA, 2015.

ABDEL-ATY, M. A. and RADWAN, A. E. Modeling traffic accident occurrence and involvement. **Accident Analysis & Prevention**, Volume 32, n. 5, 2000, p. 633-642, 2000.

ABDOLLAHI, A., BAKHTIARI, H. R. R. and NEJAD, M. P. Investigation of SVM and level set interactive methods for road extraction from google earth images. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 46, p. 423–430, 2017.

ABDOLLAHI, A., BISWAJEET, P. and NAGESH, S. Extraction of road features from UAV images using a novel level set segmentation approach. **International Journal of Urban Sciences**, v. 23, p. 391-405, 2019.

ABDULHAFEDH, A. A Novel Hybrid Method for Measuring the Spatial Autocorrelation of Vehicular Crashes: Combining Moran's Index and Getis-Ord G^*i Statistic. **Open Journal of Civil Engineering**, v. 7, p. 208-221, 2017.

AGBELIE, B. R. D. K. A comparative empirical analysis of statistical models for evaluating highway segment crash frequency. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, v. 3, n. 4, p. 374–379, 2016.

AGUERO-VALVERDE, J. and JOVANIS, P. P. Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. **Accident Analysis and Prevention**, v. 38, p. 618–625, 2006.

ALLURI, P., SAHA, D. e GAN, A. Minimum sample sizes for estimating reliable Highway Safety Manual (HSM) calibration factors. **Journal of Transportation Safety & Security**, v. 8, n. 1, p. 56-74, 2006.

ALSOP, J. and LANGLEY, J. Under-reporting of motor vehicle traffic crash victims in New Zealand. **Accidents Analysis and Prevention**, v. 33, p. 353-359, 2001.

ANASTASOPOULOS, P. C.; SHANKAR, V. N; HADDOCKC, J. E. e MANNERING, F. L. A multivariate tobit analysis of highway accident injury-severity rates. **Accident Analysis & Prevention**, v. 45, p. 110–119, 2012.

ANDRIOLA, C. L. Análise da frequência e severidade de acidentes viários em curvas de rodovias de pista simples: o caso da BR 116. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2018.

ANSELIN, L. Under the hood: issues in the specification and interpretation of spatial regression models. Forthcoming: **Agricultural Economics**, 2002.

ARAM, A. Effective safety factors on horizontal curves of two-lane highways. **Journal of Applied Sciences**, v. 10, n. 22, p. 2814–2822, 2010.

ARAÚJO, F. J. Redução dos impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito através da engenharia de baixo custo. **Trabalho de Conclusão de Curso** apresentado ao Curso Intensivo de Pós-Graduação em Administração Pública Pós-Graduação lato sensu, FGV, Nível de Especialização, outubro 2009.

AUSTROADS. Road safety audits. 2nd ed. Sydney, Austrália, 2002.

BALLINGER, G.A. Using Generalized Estimating Equations for Longitudinal Data Analysis. 2013. Available from: <http://orm.sagepub.com/content/7/2/127.refs>.

BARBOSA, H.M.; CUNTO, F.; BEZERRA, B.; NODARI, C.; JACQUES, M.A. Perspectives on the development of safety performance models for Brazilian roads. In: Proceedings of the 13th World Congress on **Transportation Research**, Rio de Janeiro, 2013.

BARROS, A. J. D.; AMARAL, R. L.; OLIVEIRA, M. S. B. Acidentes de trânsito com vítimas: sub-registro, caracterização e letalidade. **Caderno de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 979-986, 2003.

BAUER, K.M. AND HARWOOD, D.W. Safety Effects of Horizontal Curve and Grade Combinations on Rural Two-Lane Highways. **Federal Highway Administration**, Washington, DC, 2014.

BOFFO, G H. Formatos e técnicas de modelos de previsão de acidentes de trânsito. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul–UFRGS, 2011.

BONERA, M and MATERNINI, G. Methodology for the Application of Predictive Method for Road Safety Analysis in Urban Areas. The Case Study of Brescia. **Transportation Research Procedia**. 45. 659-667. 10.1016/j.trpro.2020.03.044.

BOODLAL, L.; DONNELL, E.T.; PORTER, R.J.; GARIMELLA, D.; LE, T.Q.; CROSHAW, K.; HIMES, S.; KULIS, P. and WOOD, J. Factors Influencing Operating Speeds and Safety on Rural and Suburban Roads. Report No. **FHWA-HRT-15-030**, Federal Highway Administration, Office of Safety Research and Development, McLean, VA, 2015.

BONNESON, J.; PRATT, M.; MILES, J. and CARLSON, P. Horizontal Curve Signing Handbook. **TTI Technical Report**. Texas Transportation Institute, College Station, Texas, 2007.

BRENAC, T. and ANNEX, I. Curves on Two-Lane Roads, Safety Effects of Road Design Standards. SWOV, Leidschendam, The Netherlands, 1994.

BRUDE, U., LARSSON, J., THULIN, H. Traffic accidents in relation to lineage - for different coating width, speed limit, station, lighting conditions and region. VTImeddelande 235. Statens väg- och trafikinstitut (VTI), Linköping, 1980

BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford, **Clarendon Press**, 1986.

CAFISO, S.; DI GRAZIANO, A.; DI SILVESTRO, G.; LA CAVA G.; PERSAUD, B. Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry consistency and context variables. **Accident Analysis and Prevention**, V. 34, p. 357-365, 2010.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M.S.; CRUZ, O.G.; CORREA, V. Análise Espacial de Áreas. Em: **Análise Espacial de Dados Geográficos**, Divisão de Processamento de Imagens – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos, Brasil, 2002.

CARDOSO, J.L. Accident Rates and Speed Consistency, Horizontal Curves in Single Carriageway Rural Roads. VTI konferens 9A, Part 2. **Swedish Road and Transport Research Institute**, Linköping, 1997.

CARDOSO, J.L. *Safety assessment for design and redesign of horizontal curves*. In: Paper Presented at 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, 2005.

CARDOSO, G. Modelos para previsão de acidentes em vias arteriais urbanas. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul–UFRGS, 2006.

CARDOSO, G. e GOLDNER, L. Desenvolvimento e aplicação de modelos para previsão de acidentes de trânsito. **Transportes**, v. 15, n. 2, p. 43–51, 2007.

CASTRILLÓN, A. D. e CANDIA, J. S. Guía para realizar una auditoria de seguridad vial. Chile: **Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito**, 2003.

CASTRO, M.; PALETI, R. and BHAT, C.R. A Latent Variable Representation of Count Data Models to Accommodate Spatial and Temporal Dependence: Application to Predicting Crash Frequency at Intersections. **Transportation Research Part B**, v. 46, n. 1, p. 253-272, 2012.

CHAGAS, D. M. Estudo Sobre Fatores Contribuintes de Acidentes de Trânsito Urbano. **Dissertação de Mestrado** submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

CHAGAS, D. M. Ferramentas para reconhecimento de fatores causais de acidentes de trânsito Estudo de caso no Brasil. In: A. T. Peña; A. M. Pinto; E. Café; et al. (Eds.); Fortalecendo o setor acadêmico para reduzir o número de mortes de trânsito na América Latina: **Pesquisas e Estudos de Caso em Segurança Viária**. p.58, 2014.

CHARLTON, S.G. The role of attention in horizontal curves: a comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments. **Accident Analysis and Prevention**, v. 39, n. 5, p. 873–885, 2007.

CHIKKAKRISHNA, N. K.; PARIDA, M. e 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. 6, p. 32-30, 2017.

CHIOU, Y.; LAN, L. L. and CHEN, W. Contributory factors to crash severity in Taiwan's freeways: genetic mining rule approach. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v.8, p. 1865-1877, 2010.

CHRYSLER, S.T.; CARLSON, P and WILLIAMS, A. Simplifying Delineator Applications for Horizontal Curves. **Transportation Research Record**, vol. 1918. Transportation Research Board. National Research Council, Washington D.C, p. 68–75, 2005.

CLAUDE, G. F. de M. Previsão da ocorrência de acidentes de trânsito em interseções de vias arteriais urbanas: o caso de Taguatinga/DF. **Dissertação de Mestrado**. Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS (CNM). Mapeamento das Mortes por Acidentes de Trânsito no Brasil., Brasília, DF, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). Pesquisa CNT de rodovias 2016. 20. ed. 2016.

COSTA, T.G. e BARBOSA, H.M. Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias Urbanas de Belo Horizonte. **Anais do XXV ANPET** - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Belo Horizonte, p. 1-10, 2011.

COSTA, D. C.DE S. e MORAES, R. M. de. Análise dos acidentes de trânsito utilizando técnicas de análise espacial. **Safety, Health and Environmental World Congress**. Mongaguá, BRAZIL, 2009.

COSTA H.G.F.; SILVA, R.M.; KORINFISKY, J.P.; SOUZA, D. M. O. R. de; COSTA, G. de S.; SILVA, T. F. A. da. Análise espacial dos acidentes de trânsito atendidos na urgência de um hospital universitário. **Revista Enfermagem UFPE on line**, v. 11, n. 6, p. 2500-2509, 2017.

COSTA, J. O. da; FREITAS, E. F.; JACQUES, M. A. P.; PEREIRA, P. A. A. Collision prediction models with longitudinal data: an analysis of contributing factors in collision frequency in road segments in Portugal. **RS5C - Road Safety on 5 Continents**, 2016.

COUNCIL, F. and STEWART, J., Safety effects of the conversion of rural two-lane to fourlane roadways based on cross-sectional models. **Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board** v. 1665, p. 35–43, 1999.

COUTO, J.; KOHLMAN RABBANI, E. R.; DUARTE, J.; SANTOS, F. J. B. Stakeholder's perspectives on accident causes in rehabilitation and maintenance work in Portugal and Brazil. In: Arezes, P; Baptista, JS, Barroso, M., Carneiro, P; Cordeiro, P; Melo, R; Miguel, AS;

Perestrelo, G. (Org.). **Occupational Safety and Hygiene II**. 1ed. London: Taylor & Francis, v. 1, p. 1-6, 2014.

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

CUNTO, F.J.C.; CASTRO NETO, M.M.; BARREIRA, D.S. Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza. **Transportes**, v. 20, n. 2, p.57–64, 2012.

CUNTO, F. J. C.; NODARI, C. T.; BARBOSA, H. M. Transferência de modelos de previsão de acidentes entre cidades brasileiras. **Transportes** v. 22, n. 3, 2014.

DATTA, T.K.; PERKINS, D.D.; TAYLOR, J.I.; THOMPSON, H.T. Accident Surrogates for Use in Analyzing Highway Safety Standards. Publication **FHWA-RD-82-103-105**. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C, 1983.

DAVIS, G. A. Possible Aggregation Biases in Road Safety Research and a Mechanism Approach to Accident Modeling. **Accident Analysis and Prevention**, v. 36, p. 1119–1127, 2004.

DENATRAN Manual de Tratamento de Locais Críticos. **Ministério dos Transportes**, Brasília, DF, 2002.

DIETZE, M. and WELLER, G. Applying speed prediction models to define road sections and to develop accident prediction models: A German case study and a Portuguese exploratory study. **Deliverable 6.2 of ERANET project RISMET**. Technical University of Dresden, Dresden, 2011.

DFT STATS 20 - Instructions for the Completion of Road Accident Reports from non CRASH Sources. London: **Department for Transport**, 2004.

DIESEL, L. E. GIS na prevenção a acidentes de trânsito. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil**, PPGE, UFSC. Florianópolis, SC, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DAS ESTRADAS DE RODAGEM (DNER.) Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, Rio de Janeiro, RJ, 1999.

DONG, C; S. S. NAMBIAN; S. H. RICHARDS e MA, Z. 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, 2015.

DRAGOMANOVITS A., RICHTER T., YANNIS G., LA TORRE F., LI H., RUHL S., DOMENICHINI L., GRAHAM D., KARATHODOROU N., LAIOU A. Use of Accident

Prediction Models in Road Safety Management - An **International Inquiry Transp. Res. Procedia**, v. 14, p. 4257-4266, 2016.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. Análise Espacial de Dados Geográficos, Brasília, **INPE**, 2004.

DUARTE, R. M. S. Aplicação do Método de Previsão de Acidentes do Highway Safety Manual em Interseções do Meio Urbano. **Dissertação de Mestrado**. Universidade do Porto, 2012.

DUMBAUGH, E. and RAE, R. Safe urban form: revisiting the relationship between community design and traffic safety. **J. Am. Plann. Assoc.** v. 75, n. 3, p. 309–329, 2009.

ECCLES, K.A. and HUMMER, J.E. Safety effects of fluorescent yellow warning signs at hazardous sites in daylight curves. In: Proceedings of the Transportation Research Board 80th Annual Meeting. **Transportation Research Board**, v.1, n. 2236, Washington D.C, 2000.

ELURU, N., Evaluating alternate discrete choice frameworks for modeling ordinal discrete variables. **Accident Analysis and Prevention**, v. 55, p. 1-11, 2013.

ELURU, N. and BHAT, C.R. A joint econometric analysis of seat belt use and crash-related injury severity. **Accid. Anal. Prev.** v. 39, n. 5, p. 1037–1049, 2007.

ELVIK, R. Road safety management by objectives: a critical analysis of the Norwegian approach. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, n. 3, p. 1115–1122, 2007.

ELVIK, R. International transferability of accident modification functions for horizontal curves. **Accident Analysis and Prevention**, v. 59, p. 487–496, 2013.

ERDOGAN, S.; YILMAZ, I.; BAYBURA, T. and GULLU, M. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, p. 174–181, 2008.

ERVIN, D. Advanced Spatial Analysis. 2015.

FERRAZ, A. C. P. C.; RAIA JR.; BEZERRA, B. S. Segurança viária. São Carlos, SP: **Suprema Gráfica e Editora**, 2012.

FILIP, C.; WETS, G. and THOMAS, I. Road traffic accident clustering with categorical attributes. **Transportation Research Board**, 2004.

FINDLEY, D. J.; HUMMER, J. E.; RASDORF, W.; ZEGER, C. V.; and FOWLER, T. J. Modeling the impact of spatial relationships on horizontal curve safety. **Accident Analysis & Prevention**, v. 45, p. 296-304, 2012.

FILHO, M. B. B. Desenvolvimento de Sistema de Geoinformação como Suporte ao Gerenciamento das Redes de Distribuição de Água. **Dissertação de Mestrado em Ciências**

Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

FRANÇA JÚNIOR, R. T. Por que os acidentes ocorrem? Na visão da engenharia de tráfego. In: **Seminário Catarinense pela Preservação da Vida no Trânsito**. Anais. Florianópolis, 2003.

FRANÇA, A. M. Diagnóstico dos acidentes de trânsito nas rodovias estaduais de Santa Catarina utilizando um sistema de informação geográfica. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2008

FRANÇA, A. M. e GOLDNER, L. G. Caracterização dos acidentes de trânsito em rodovias utilizando um sistema de informações geográficas. **Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, UFSC Florianópolis, SC, 2006.

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.

GHAMDI, A.S. Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity. **Accid. Anal. Prev.**, v. 34, p. 729–741, 2002.

GLENNON, J.C.; NEUMAN, T.R.; LEISCH, J.E. Safety and operational considerations for design of rural highway curves. Report **FHWA/RD-86/035**. Federal Highway Administration. United States Department of Transportation. Washington D.C, 1985.

GLENNON, J.C. Effect of alignment on highway safety. State of the Art Report 6. **Transportation Research Board**. National Research Council, Washington D.C, 1987.

GOMES, M. J. T. L.; TORRES, C. A.; OLIVEIRA NETO, F. M. e CUNTO, F. J. C. Análise exploratória para a modelagem da frequência de acidentes de trânsito agregados ao nível de zonas de tráfego. **Transportes**, v.23, n.4, p. 42-50, 2015.

GOMES, M.J.T.L.; TORRES, C.A.; CUNTO, F.J.C. Avaliação da dependência espacial na modelagem do desempenho da segurança viária em zonas de tráfego. **Transportes** v. 24, n. 4, 2016.

GOODCHILD, M. Geographical data modeling. **Computers & Geoscience**, v. 18, n. 4, p. 401-408, 1992.

GOYAL, P., JOSHI, S., KAMPLIMATH, H., PRAJAPATI, D. Accident Prediction Modeling of a Major Road of Ahmedabad. 12th Transportation Planning and Implementation Methodologies for Developing Countries - TPMDC IIT Bombay, 19-21 December 2016.

GREIBE, P. Accident prediction models for urban roads. **Accident Analysis & Prevention**, v. 35, n. 2, p. 273-285, 2003.

GROSS, FRANK, PERSAUD, BHAGWANT, LYON, CRAIG. A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors **FHWA-SA-10-032**. Federal Highway Administration, Washington, D.C, 2010.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. Econometria básica. 5. ed. Porto Alegre: **AMGH**, 2011. 924 p.

GUO, F.; WANG, X.; ABDEL-ATY, M.A. Modeling signalized intersection safety with corridor-level spatial correlations. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, n. 1, p. 84–92, 2010.

HADAYEGHI, A.; SHALABY, A.S.; PERSAUD, B. Macro-level accident prediction models for evaluating safety of urban transportation systems. **Transportation Research Record**, v. 1840, n. 1, p. 87-95, 2003.

HADAYEGHI, A.; SHALABY, A.S.; PERSAUD, B. Development of planning level transportation safety tools using Geographically Weighted Poisson Regression. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, 676-688, 2007.

HADI, M.A.; ARULDHAS, J.; CHOW, L.F. and WATTLEWORTH, J.A. Estimating Safety Effects of Cross-Section Design For Various Highway Types Using Negative Binomial Regression, **Transportation Research Center**, University of Florida, 1995.

HALEKOH, U.; HOJSGAARD S.; YAN J. The R Package geepack for Generalized Estimating Equations. **Journal of Statistical Software**, v. 15, n. 2, p. 1–11, 2006.

HALEEM K., ABDEL-ATY M. and MACKIE K. Using a reliability process to reduce uncertainty in predicting crashes at unsignalized intersections. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, n. 2, p. 654-666, 2010.

HAMMOND, J. and WEGMANN, F. Daytime effects of raised pavement markers on horizontal curves. **ITE Journal: Institute of Transportation Engineers** (August), 38–41, 2001.

HARIRFOROUSH, H. and BELLALITE, L. A new integrated GIS-based analysis to detect hotspots: A case study of the city of Sherbrooke. **Accid. Anal. Prev.**, 2016.

HARPRING, J. Curve Finder FAQ for Version 2. Concord, NH: **New Hampshire Department of Transportation** (NHDOT), 2010.

HASHIM, I. H., and BIRD, R. N. Exploring the Relationships Between the Geometric Design Consistency and Safety in Rural Single Carriageways in the UK. **Proc., 36th Annual Conference of the Universities' Transport Study Group**, Newcastle, United Kingdom, 2004.

HAUER, E., Safety and the choice of degree of curve. **Transportation Research Record**, v. 1665, p. 22–27, 1999.

HEDMAN, K.O. Road Design and Safety. Proceedings of Strategic Highway Research Program and Traffic Safety on Two continents, Gothenburg, **VTI Report 315 A**, 1990.

HERRSTEDT, L. and GREIBE, P. Safer signing and marking of horizontal curves on rural roads. **Traffic Engineering and Control Magazine**, v. 42, p. 82–87, 2001.

HIRASAWA, M. and ASANO, M. Development of traffic accident analysis system using GIS. **Traffic Engineering Division**, Civil Engineering Research Institute of Hokkaido. Hokkaido, Japão, 2003.

HOLMES, T. J. Structural, experimentalist, and descriptive approaches to empirical work in regional economics. **J. Reg. Sci.**, Philadelphia, v.50, n.1, p.5-22, 2010.

HORMESE, J. and SARAVANAN, C. Automated road extraction from high resolution satellite images. **Procedia Technologies**, v. 24, p. 1460–1467, 2016.

HOSSEINPOUR, M.; YAHAYA, A. S.; SADULLAH, A. F.; ISMAIL, N. e GHADIRI, S. M. R. Evaluating the effects of road geometry, environment, and traffic volume on rollover crashes. **Transport**, v. 31, n. 2, p. 221–232, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diagnóstico Cartográfico dos Municípios do Brasil. Brasília, 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras Caracterização, Tendências e Custos para a Sociedade. Brasília: **IPEA e PRF**, 2015.

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM (ITF). Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System. (ITF). **OECD Publishing**, Paris, 2016.

INTERNATIONAL TRAFFIC SAFETY DATA AND ANALYSIS GROUP (IRTAD). Road Safety Annual Report, 2018.

IVAN, N. J., CHUNYAN W. and BERNARDO, R. N. Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure. **Accident Analysis and Prevention**, v. 32, p. 787-795, 1999.

IYINAM, A. F.; IYINAM, S. and 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.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS (ITE) Transportation Planning Handbook, **3rd Edition**. **Institute of Transportation Engineers**, 2009.

JIAN L., QIN, Q., JUN, L. and YUNPENG, L. Rural Road Extraction from High-Resolution Remote Sensing Images Based on Geometric Feature Inference. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, p. 314, 2017.

JOSHUA, S. C. and GARBER, N. J. Estimating truck accident rate and involvements using linear and Poisson regression models. **Transportation planning and Technology**, v. 15, n. 1, p. 41-58, 1990.

JUPPA, G. Identificação das Interseções Críticas de Acidentes de Trânsito na Área Urbana do Município de Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **III Seminário Internacional de Arquitetura & Urbanismo e Engenharia Civil**, 2010.

JUREWICZ, C. and PYTA, V. Effect of clear zone widths on run-off-road crash outcomes. Conference: **Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference At: Canberra, ACT**, 2010

KAHRAMAN, I., KARAS, I.R. and AKAY, A.E. Road extraction techniques from remote sensing images: A review. In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, **Proceedings of the International Conference on Geomatics and Geospatial Technology**, p. 339–342, 2018.

KAMANGIR, H., MOMENI, M. and SATARI, M. Automatic centerline extraction of covered roads by surrounding objects from high resolution satellite images. **ISPRS-International Archives of the Photogrammetry**, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-4/W4, 111–116, 2017.

KARNAUKHOVA, E. Proposta de cartografia geoecológica aplicada ao planejamento territorial. **Tese de Doutorado** em Engenharia em Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

KARLAFTIS, M. G.; TARKO, A. P. Heterogeneity Consideration in Accident Modeling. paper presented at **TRB 77th Annual Meeting**, January 11-15, Washington, D.C, 1998.

KARLAFTIS, M. and GOLIAS I. Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. **Accid Anal Prev.**, v. 34, n. 3, p. 357-365, 2002.

KHAN, M. A.; AL KATHAIRI, A. S. and GARIB, A. M. A GIS based traffic accident data collection, referencing and analysis framework for Abu Dhabi, 2014.

KIRAN, B. N., KUMARASWAMY, N. and SASHIDHAR, C. A Review of Road Crash Prediction Models for Developed Countries. **American Journal of Traffic and Transportation Engineering**. V. 2, N. 2, p. 10-25, 2017.

KOIKE, H.; MORIMOTO, A.; HANZAWA, Y. AND SHIRAISHI, N. Development of hazard map using GIS to reduce traffic accidents. **American Society of Civil Engineers**, ASCE Publications, 2000.

KOHLMAN RABBANI, E. R.; OLIVEIRA, D. M. G.; MACEDO, M. R.O. B. C. Identificação de blackspots: Estudo piloto em trecho da BR-101 em Pernambuco. **Construir Nordeste**, v. 21, p. 37-37, 2015.

KONG, C. and YANG, J. Logistic regression analysis of pedestrian casualty risk in passenger vehicle collisions in China. **Accid. Anal. Prev.**, v. 42, p. 987–993, 2010.

KRULL, K., KHATTAK, A., COUNCIL, F. Injury effects of rollovers and events sequence in single-vehicle crashes. **Transportation Research Record**, v. 1717, p. 46-54, 2000.

LA TORRE F., MEOCCI M., DOMENICHINI L., BRANZI V., TANZI N., PALIOTTO A. Development of an accident prediction model for Italian freeways. **Accid. Anal. Prev.**, v. 124, p. 1-11, 2019.

LABI, S. Efficacies of roadway safety improvements across functional subclasses of rural two-lane highways. **J. Saf. Res.**, v. 42, n. 4, p. 231–239, 2011.

LAMM, R.; PSARIANOS, B.; CAFISO, S. Safety Evaluation Process for Two-Lane Rural Roads: A 10-Year Review. **Transportation Research Record**, Transportation Research Board. National Research Council, Washington D.C, v. 1796. p. 51–59, 2002.

LARSEN, M. Philadelphia traffic accident cluster analysis using GIS and SANET. In: **Master of Urban Spatial Analytics**. School of Design, University of Pennsylvania, 2010.

LEE, J. and MANNERING, F. Impact of roadside features on the frequency and severity of runoff-roadway accidents: An empirical analysis. **Accident Analysis and Prevention**, v. 34, n. 2, p. 149-161, 2002.

LI, Y. and BRIGGS, R. Automatic extraction of roads from high resolution aerial and satellite images with heavy noise. **International Journal of Computer and Information Engineering**, v. 3, p. 1571–1577, 2009.

LI, M., STEIN, A., BIJKER, W. and ZHAN, Q. Region-based urban road extraction from VHR satellite images using binary partition tree. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 44, p. 217–225, 2016.

LIANG, K.; ZEGER, S. L. Longitudinal Data Analysis Using Generalized Linear Models **Biometrika**, v. 73, n. 1, p. 13-22, 1986.

LIMA, C. O. e FRANCO, L. D. Estudo das correlações de acidentes em rodovia. **Trabalho de Conclusão de Curso** - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.

LIMA, I. M. de O.; FIGUEREDO, J. C.; MORITA, P. A.; GOLD, P. Fatores Condicionantes da Gravidade dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras. **IPEA**: Brasília, 2008.

LIU, J.; KHATTAK, A.J.; WALI, B. Do safety performance functions used for predicting crash frequency vary across space? Applying geographically weighted regressions to account for spatial heterogeneity. **Accid. Anal. Prev.**, v. 109, p. 132–142, 2017.

LONG, H. and ZHAO, Z. Urban road extraction from high-resolution optical satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, p. 4907–4921, 2005.

LOPES, S. B. Efeitos da Dependência Espacial em Modelos de Previsão de Demanda por Transporte. **Dissertação de Mestrado**, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2005.

LOPES, S. B. e SILVA, A. N. R. An Assessment Study of the Spatial Dependence in Transportation Demand Models. *Proceedings XIII Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transportes*, Anbany, NY, EUA, 2004.

LOPES, S. B. e SILVA, A. N. R. Modelos de Previsão de Demanda por Transportes Empregando Análise de Dependência Espacial. In: XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005, Recife - PE. Anais. Rio de Janeiro - RJ: **Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**, 2005. v. I. p. 374-385, 2005.

LOPES, S. B.; BRONDINO, N. C. B.; SILVA, A. N. R. Um estudo da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transportes no caso de Porto Alegre. In: Antônio Nélson Rodrigues da Silva; Léa Cristina Lucas de Souza; José Fernando Gomes Mendes. (Org.). **Planejamento urbano, regional, integrado e sustentável: Desenvolvimentos recentes no Brasil e em Portugal**. São Carlos, p. 173-190, 2005.

LORD D.; MANAR A.; VIZIOLI A. Modelling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeways segments. **Accident Analysis & Prevention**, v. 37, n.1, p. 185-199, 2005.

LORD, D. and MAHLAWAT, M. Examining the application of aggregated and disaggregated Poisson-gamma models subjected to low sample mean bias. **Transportation Research Record**, v. 2136, p. 1-10, 2009.

LORD, D., WASHINGTON, S. P. and IVAN, J. N. Poisson, Poisson-gamma and zero inflated regression models of motor vehicle crashes: Balancing statistical fit and theory. **Accident Analysis and Prevention**, v. 37, n. 1, p. 35–46, 2005.

LORD, D. and PERSAUD, B. N. Accident prediction models with and without trend: application of the generalized estimating equation (GEE) procedure. **Transportation Research Board**, v. 0496, n. 14, 2000.

LORD, D. and MANNERING, F. The statistical analysis of crash frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. **Transportation Research Part A**, v. 44, p. 291–305, 2010.

LYLES, R. L. and TAYLOR, W. Communicating changes in horizontal alignment. NCHRP Report 559. **Transportation Research Board**. National Research Council, Washington D.C, 2006.

LUOMA, J. and SIVAK, M. Road Safety Management in Brazil, Russia, India and China. **University of Michigan Transportation Research Institute**. Michigan, EUA, 2012.

- MA, J. e LI, Z. Bayesian Modeling of Frequency-Severity Indeterminacy with an Application to Traffic Crashes on Two Lane Highways. **American Society of Civil Engineers**, 2010.
- MACEDO, M.R.O.B.C., MAIA, M. L. A., KOHLMAN RABBANI, E. R. and LIMA NETO, O. C. C. Remote Sensing Applied to the Extraction of road geometric features based on OPF classifiers, Northeastern Brazil. **Journal of Geographic Information System**, v. 12, p. 15-44, 2020.
- MACEDO, R. O. B. C. and KOHLMAN RABBANI, E. R. Application of methods for mapping blackspots with GIS. **La Geoinformación al servicio de la sociedad XVI Simposio Internacional Selper**, Medellin, 2014.
- MALYSHKINA, N.V. and MANNERING, F.L. Empirical assessment of the impact of highway design exceptions on the frequency and severity of vehicle accidents. **Accid. Anal. Prev.**, v. 42, n. 1, p. 131–139, 2010.
- MATTHEWS, L.R. and BARNES, J.W. Relation between road environment and curve accidents. In: Proceedings of **14th ARRB Conference**, Part 4. Australian Road Research Board, Vermont South, Victoria, Australia, p. 105–120, 1988.
- MATSUMOTO, P. S. S. e FLORES, E. F. Estatística Espacial na Geografia: Um Estudo dos Acidentes de Trânsito em Presidente Prudente – SP. Departamento de Geografia da **FCT/UNESP**, Presidente Prudente, v. 1, n. 12, p. 95-113, 2012.
- MCBEAN, P.A. The influence of road geometry at a sample of accident sites. TRRL Laboratory Report 1053. **Transport and Road Research Laboratory**, Crowthorne, 1982.
- MCGEE, H.W. and HANSCOM, F.R. Low-Cost Treatments for Horizontal Curve Safety. Publication **FHWA-SA-07-002**. Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C, 2006.
- MEINBERG, F. F. Ferramentas para a análise de acidentes de trânsito com o uso de um sistema de informação geográfico. **Informática Pública**, v. 5, n. 1, p. 79-99, 2003.
- MENDONÇA, M. F. S. de; SILVA, A. P. de S. C.; CASTRO, C. C. L. de. Análise espacial dos acidentes de trânsito urbano atendidos pelo Serviço de Atendimento Móvel de Urgência: um recorte no espaço e no tempo. **Rev Brasileira de Epidemiologia**, v. 20, n. 4, p. 727-741, 2017.
- MIAOU, S.P. The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: poisson versus negative binomial regressions. **Accid. Anal. Prev.**, v. 26, n. 4, p. 471–482, 1994.
- MIAOU, S. P. and LUM, H. Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. **Accident Analysis & Prevention**, v. 25, n. 6, p. 689-709, 1993.
- MILTON, J. and MANNERING, F. The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. **Transportation**, v. 25, n. 4, p. 395–413, 1998.

MOHAYMANY, A.S.; SHAHRI, M.; MIRBAGHERI, B. GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation. **Geo-spatial Inf. Sci.** v. 16, n. 2, p. 113–119, 2013.

MOUNTAIN, L.; FAWAZ, B.; JARRETT, D. Accident prediction models for roads with minor junctions. **Accident Analysis & Prevention**, v. 28, n. 6, p. 695-707, 1996.

MUSTAKIM, F. and FUJITA, M. Development of accident predictive model for rural roadway. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 58, p. 126-131, 2011.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (MT). Programa Pare de Redução de Acidentes – Procedimentos Para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito. Brasília – DF, 2002.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO (MTPA). Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária. Brasília, 2018.

NIELSEN, M.A.; GREIBE, P.; HERRSTED, L. Signing and Marking of Substandard Horizontal Curves on Rural Roads (Main Report). Road Directorate, Ministry of Transport, Report 163. **Traffic Management and Road Safety**, Copenhagen, Denmark, 1999.

NIE, K.; WANG, Z.; DU, Q.; REN, F.; TIAN, Q. A network-constrained integrated method for detecting spatial cluster and risk location of traffic crash: a case study from Wuhan, China. **Sustainability**, v. 7, n. 3, p. 2662–2677, 2015.

NODARI, C. T. Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

NOLAND, R.B. Traffic fatalities and injuries: the effect of changes in infrastructure and other trends. **Accid. Anal. Prev.**, v. 35, n. 4, p. 599–611, 2003.

NOLAND, R.B. From theory to practice in road safety policy: understanding risk versus mobility. **Res. Transp. Econ.** V. 43, p. 71–84, 2013.

NOLAND, R.B. and ZHOU, Y. Has the great recession and its aftermath reduced traffic fatalities? **Accid. Anal. Prev.**, v. 98, p. 130–138, 2017.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD/ITF). **Road Safety Annual Report 2016**, OECD Publishing, Paris, 2016.

OKABE, A.; SATOH, T.; SUGIHARA, K. A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool. **Int. J. Geogr. Inf. Sci.**, v. 23, n. 1, p. 7–32, 2009.

OLIVEIRA, D. M. G. identificação e diagnóstico de blackspots na região metropolitana de recife: análise de 60 quilômetros da BR 101-PE. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco, 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Global Status on Road Safety, 2018.

ORGANIZAÇÃO PAN AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). Segurança no Trânsito nas Américas, 2016.

ORGANIZAÇÃO PAN AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). Segurança no Trânsito nas Américas, 2019.

ORIS, W.N. Spatial Analysis of Fatal Automobile Crashes in Kentucky, 2011.

O’SULLIVAN, D. and UNWIN, D. **Geographic Information Analysis**. John Wiley & Sons, 2014.

PAIXÃO, W.R.; KOMATI, K.S. Uma Aplicação baseada em SIG para Análise de Acidentes de Trânsito: Estudo de caso na Rodovia BR-101/ES. **Escola Regional de Banco de Dados**, v. 9, p. 1-4, 2013.

PARK, E.-S.; CARLSON, P.; PORTER, R.; ANDERSON, C. Safety effects of wider edge lines on rural, two-lane highways. **Accident Analysis and Prevention**, v. 48, p. 317-325, 2012.

PARO, L. S.N M. Contribuição Metodológica Para Identificação De Segmentos Críticos Em Rodovias. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGECC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2009.

PAQUETTE, S.; and DOMON, G. The transformation of the agroforestry landscape in the nineteenth century: a case study in southern Quebec (Canada). **Landscape and Urban Planning**, v. 37, p. 197-209, 1996.

PEREIRA, F. R. de A. Análise da Relação entre as Características Técnicas da Estrada e Acidentes Rodoviários. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017.

PERSAUD, B.; RETTING, R. and LYON, C. Guidelines for identification of hazardous highway curves. **Transportation Research Record**, v. 1717, p. 14–18, 2000.

WORLD ROAD ASSOCIATION (PIARC). Road Safety Manual: Recommendations from the **World Road Association**. Paris: Route Market. 2003.

PULUGURTHA, S. S.; V. K. KRISHNAKUMAR AND S. S. NAMBIAN. New methods to identify and rank high pedestrian crash zones: An illustration. **Accident Analysis and Prevention**, v. 39, p. 800–811, 2007.

QUEIROZ, M. P. Análise espacial dos acidentes de trânsito no município de Fortaleza. **Dissertação de Mestrado**, UFC, Fortaleza, CE, 2003.

QUEIROZ, M. P.; LOUREIRO, C. F. G.; YAMASHITA, Y. Caracterização de padrões pontuais de acidentes de trânsito aplicando as ferramentas de análise espacial. **XVIII ANPET**, 2018.

QUEIROZ, M. P.; LOUREIRO, M. P.; YAMASHITA, Y. Metodologia de Análise Espacial para Identificação de Locais Críticos Considerando a Severidade dos acidentes de Trânsito. **Revista de Transportes**, v. XII, P. 15-28, 2004.

QUDDUS, M.A. Modelling area-wide count outcomes with spatial correlation and heterogeneity: an analysis of London crash data. **Accid. Anal. Prev.**, v. 40, n. 4, p. 1486–1497, 2008.

QUDDUS, A. M., CHAO W. and STEPHEN, G. I. Road traffic congestion and crash severity: Econometric analysis using ordered response models. **Journal of Transportation Engineering, ASCE**, v. 136, n.5, p. 424-435, 2010.

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

RAJADURAI, K. and COLINS JOHNNY, J. Highway Alignment using Remote Sensing and Geographical Information System. **IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology**, v. 1, n. 9, 2015.

RASDORF, W.; FINDLEY, D.J.; ZEGER, C.V.; SUNDSTROM, C.A.; HUMMER, J.E. Evaluation of GIS applications for horizontal curve data collection. **Journal of Computing in Civil Engineering**, American Society of Civil Engineers, in press., v. 25, n. 2, p. 191–203, 2012.

REINHOLD, I. R. Contribuição para alocação de faixas de pedestres em vias urbanas com a utilização de um sistema de informações geográficas, baseado no estudo de fatores de segurança viária. **Tese de doutorado** em Engenharia Civil, PPGE, UFSC. Florianópolis, SC, 2006.

RENGARASU, T.; HAGIWARA, T. e 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, 2009.

RETTING, R.A. and FARMER, C.M. Use of pavement markings to reduce excessive traffic speeds on hazardous curves. **ITE Journal: Institute of Transportation Engineers**, v. 68, n. 9, p. 30–36, 1998.

ROCHA, M. M. Análise Espacial de Acidentes de Trânsito no Contexto de Variáveis Agregadas em Áreas: Proposta Metodológica e Aplicação na Cidade do Rio de Janeiro / Marcos de Meneses Rocha. – Rio de Janeiro: **UFRJ/COPPE**, 2015.

ROCHA, D. D. e SILVEIRA, J. S. Análise dos fatores de risco no trânsito na BR 316 trecho Marituba Belém. 2013. **Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação** apresentado ao Centro

de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade da Amazônia, como requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Civil, 2013.

SACCHI, E., PERSAUD, B. and BASSANI, M. Assessing international transferability of highway safety manual crash prediction algorithm and its components. **Transportation Research Record**, v. 2279, p. 90–98, 2012.

SAITO, S., YAMASHITA, T. and AOKI, Y. Multiple object extraction from aerial imagery with convolutional neural networks. *Journal of Imaging Science Technology*, v. 60(1), p. 10402–10402, 2016.

SHI, W., MIAO, Z., WANG, Q. and ZHANG, H. Spectral-spatial classification and shape features for urban road centerline extraction. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v. 11, p. 788–792, 2014.

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

SANTANA, C. V.; RABBANI, E. R. K. ; MACEDO, M. R. O. B. C.; GOMES, D. M. Segurança viária: estudo piloto na br-101 no Estado de Pernambuco. In: **XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, CNEG, 2015.

SALBEGO A. G.; GIOTTO, E.; MADRUGA, P. R. A. Geoprocessamento aplicado ao diagnóstico e espacialização da infraestrutura viária rural. **Ambiência**, Guarapuava-PR, v.2, n.2, p. 179-195, 2006.

SANTOS, L. dos. Análise dos acidentes de trânsito do Município de São Carlos utilizando Sistema de Informação Geográfica – SIG e ferramentas de estatística espacial. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de São Carlos, 2006.

SANTOS, L. dos e RAIA JR., A. A. Distribuição espacial dos acidentes de trânsito em São Carlos (SP): identificação de tendências de deslocamento através da técnica de elipse de desvio padrão. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 18, p. 134 - 145, 2006.

SCHMIDT, C. M. C. Modelo de regressão de Poisson aplicado à área da saúde. **Dissertação de Mestrado em Modelagem Matemática** - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2003.

SAKSHAUG, K. Effekt av overhøyde i kurver: Beskrivelse av datamaterialet. Notat av 2.11.1998. SINTEF, Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 1998.

SCHMITZ, A. Proposta metodológica baseada em GIS para análise dos segmentos críticos de rodovia: estudo de caso na BR-285/RS, 2011. **Dissertação de Mestrado**, UFRGS, 2011.

SCHWARZ, F. de S. Análise espacial de acidentes de trânsito: discussão sobre a segurança viária em Porto Alegre (RS). Porto Alegre: UFRGS, 2013.

SHANKAR, V., MANNERING, F. and WOODROW, B. Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. **Accid. Anal. Prev.**, v. 27, n.3, p. 371–389, 1995.

SHANKAR, V., MILTON, J. and MANNERING, F. Modeling accident frequencies as zero-altered probability process an empirical inquiry. **Accident Analysis and Prevention**, v. 29, n. 6, p. 829–837, 1997.

SAWALHA, Z., and SAYED, T. Evaluating Safety of Urban Arterial Roadways. **Journal of Transportation Engineering**, 2001.

SCHNEIDER, W. H.; SAVOLAINEN, P. T. E 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, 2010.

SHIRAZI, M.; LORD, D.; GEEDIPALLY, S. Sample-size guidelines for recalibrating crash prediction models: Recommendations for the highway safety manual. **Accident Analysis & Prevention**, v. 93, p.160-168, 2016.

SILVA, K C R. Aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista simples do Estado de São Paulo. **Dissertação de Mestrado**, 2011.

SIMPSON, S.; CLEVENGER, C. M.; OZBEK, M. E.; KOHLMAN RABBANI, E. R. A Framework for Assessing Transportation Sustainability Rating Systems for Implementation in U.S. State Departments of Transportation. In: TRB 93rd Annual Conference, Washington, DC. Proceedings of the 2014 TRB 93rd Annual Conference. Washington, DC: TRB, 2014

SIVAK, M e BRANDON, S. Estudo de Acidentes: maior probabilidade de acidentes de trânsito. **Universidade de Michigan**, Estados Unidos, 2011.

SOARES, A. J. e SILVA, A. N. R. Análise de autocorrelação em redes aplicada ao caso de acidentes urbanos de trânsito. **Anais do XXI Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET**, Rio de Janeiro, 2007.

SOUZA, B. F. e SILVA, J. P. Análise Espacial dos acidentes de trânsito em Passos (MG). **Ciência et Praxis**, v. 10, n. 19, 2017.

SOUZA, V. R.; CAVENAGHI, S.; ALVES, J. E. D.; MAGALHÃES, M. A. F. M. Análise espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais: comparação entre o local de residência e de ocorrência do acidente no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v.25, n.2, p.353-364, 2008.

SOUZA, G. A. de. Georreferenciamento de acidentes de trânsito: uma discussão metodológica **ACTA Geográfica**, Ed. Esp. Cidades na Amazônia Brasileira, p.31-40, 2011.

SOUZA, G. A. Espacialidade urbana, circulação e acidentes de trânsito: o caso de Manaus-AM (2000 a 2006). **Tese de Doutorado**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.

SOUZA, B. F. e SILVA, J. P. Análise Espacial dos acidentes de trânsito em Passos (MG) **Ciência et Praxis** v. 10, n. 19, 2017.

STEWART, D. and CHUDWORTHY, C.J. A Remedy for Accidents at Bends. **Traffic Engineering and Control**, v. 31, n. 2, 1990.

STEWART, D. Risk on Roadway Curves. **Letter to Traffic Engineering and Control**, v. 528, 1994.

STRATHMAN, J.G.; DUEKER, K. J.; ZHANG, J.; WILLIAMS, T. Analysis of Design Attributes and Crashes on the Oregon Highway System. Publication **FHWA-OR-RD-02-01**. Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation, Washington D.C, 2001.

STOTER, J. and ZLATANOVA, S. 3D GIS, where are we standing? In: ISPRS Joint **Workshop on Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modelling and Analysis**, Québec, 2003.

SUJATHA, C. and SELVATHI, D. Connected component-based technique for automatic extraction of road centerline in high resolution satellite images. *Image and Video Pro-cessing*, v. 8, p. 1–16, 2015.

SUN, Z and HAO, G. HSM: A Hierarchical Spiral Model for Knowledge Management, in **Proceedings of the 2nd International Conference on Information Management and Business (IMB2006)**, Sydney, Australia, p. 542-551, 2006.

TERHUNE, K.W. and PARKER, M.R. An Evaluation of Accident Surrogates for Safety Analysis of Rural Highways. Publication **FHWA-RD-86-127**. Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation, Washington D.C., 1986.

TOFFALETTI, S., MATERNINI, G. Methodology for the application of predictive method for road safety analysis in urban areas. The case study of Brescia. Master thesis, University of Brescia, Italy, 2017.

TORBIC, D.J. et al. Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, Volume 7: A Guide for Reducing Collisions on Horizontal Curves. **NCHRP Report 500**. Transportation Research Board. National Research Council, Washington D.C., 2004.

Transportation Research Board 2015 Annual Report – **TRB 2015 Annual Report**. The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 500 Fifth Street, NW, Washington, D.C., 20001.

UOL Economia (2020). <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2019/04/06/pib-economia-nordeste.htm>. Acesso em 19 de janeiro de 2020.

VALENT, F.; SCHIAVA, F.; SAVONITO, C.; GALLO, T.; BRUSAFERRO, S. and BARBONE, F. Risk factors for fatal road traffic accidents in Udine, Italy. **Accid. Anal. Prev.**, v. 34, p. 71–84, 2000.

VEMULAPALLI, S.S. GIS-based spatial and temporal analysis of aging-involved crashes in Florida. **Tese de Doutorado**, The Florida State University, 2015.

VERGARA, O. R.; CINTRA, J. P.; D'ALGE, J. C. L. Atualização cartográfica integrando técnicas de sensoriamento remoto, processamento de imagens e sistemas de informação geográfica. In: X **Simpósio Latino Americano de Percepción Remota**, La Paz, 2005.

VOGT, A. and BARED, J. Accident models for two-lane rural segments and intersections. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board**, v. 1635, p. 18-29, 1998.

XIA, W., ZHANG, Y., LIU, J., LUO, L. and YANG, K. Road extraction from high resolution image with deep convolution network—A case study of GF-2 image. In Proceedings of the 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing, v. 2, p. 325, 2018.

XIE, Z. and YAN, J. Kernel density estimation of traffic accidents in a network space Computers. **Environ. Urban Syst.**, v. 32, n. 5, p. 396–406, 2008.

XIE, F.; GLADHILL, K.; DIXON, K. K.; MONSERE, C. M. Calibrating the Highway Safety Manual predictive models for Oregon state Highways. **Compendium of the Transportation Research Board 90th Annual Meeting**. Washington, DC: Transportation Research Board, 2011.

WANG, W., YANG, N., ZHANG, Y., WANG, F., CAO, T. and EKLUND, P. A review of road extraction from remote sensing images. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, v. 3, p. 271–282, 2016.

WANG, X.; ABDEL-ATY, M. Temporal and spatial analysis of rear-end crashes at signalized intersections. **Accident Analysis and Prevention** 38, p. 1137-1150, 2008.

WASHINGTON, S.; SCHALKWYK, I.V.; MEYER, M.; DUMBAUGH, E.; ZOLL, M. Incorporating safety into longrange transportation planning. **NCHRP Report n. 546**, TRB. National Cooperative Highway Research Program, Washington D.C, 2006.

WATTERS, P., and O'MAHONY, M. The Relationship Between Geometric Design Consistency and Safety on Rural Single Carriageways in Ireland. Proc., European Transport Conference, Leiden, Netherlands, Association for European Transport, London, 2007.

WU, H. and PRASAD, S. Convolutional recurrent neural networks for hyperspectral data classification. Remote Sensing, v. 9, p. 298, 2017.

YAMAMOTO, T.; SHANKAR, V. Bivariate ordered-response probit model of driver's and passenger's injury severities in collisions with fixed objects. **Accident Analysis and Prevention**, v. 36, n. 5, p. 869-876, 2004.

YE, X.; PENDYALA, R.; SHANKAR, V.; KONDURI, K. A simultaneous model of crash frequency by severity level for freeway sections. **Accident Analysis and Prevention**, v. 57, p. 140-149, 2013.

- YI, P. and LAM, P. Teaching Highway Safety Analysis Through Networking and Visualization. John Wiley & Sons, Inc. **Comput Appl Eng Educ**, v. 9, 2001.
- Yu, R., Abdel-Aty, M., 2013. Multi-level Bayesian analysis for single- and multi-vehicle freeway crashes. **Accident Analysis and Prevention**, v. 58, p. 97-105, 2013.
- ZEGEER, C.V.; STEWART, J.R.; COUNCIL, F.M.; REINFURT, D.W.; HAMILTON, E. Cost-Effective Geometric Improvements for Safety Upgrading of Horizontal Curves, **Publication FHWA-RD-90-074**. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C, 1991.
- ZEGEER, C.V.; STEWART, J.R.; COUNCIL, F.M.; REINFURT, D.W.; HAMILTON, E. Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves, Transportation Research Record. **Transportation Research Board**. National Research Council, Washington D.C, v. 1356, p. 11–19, 1992.
- ZEGEER, C. V. e DEACON, J. A. Effect of lane Width, Shoulder Width, and Shoulder Type on Highway Safety. In: State of the Art report 6. Relationship between Safety and Key Highway Features. A Synthesis of Prior Research. **Transportation Research Board**, Washington DC, 1987.
- ZENG, Q. and HUANG, H. Bayesian spatial joint modeling of traffic crashes on an urban road network. **Accid. Anal. Prev.**, v. 67, p. 105–112, 2014.
- ZHOU, M. and SISIOPIKU, V. Relationship Between Volume-to-Capacity Ratios and Accident Rates. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board**, v. 1581, 1997.

ANEXO A - DADOS DAS CURVAS OBTIDOS APÓS A CRIAÇÃO DO ALINHAMENTO NO AUTOCAD CIVIL 3D

QUADRO GERAL DE CURVAS

Number	Type	Length	Radius	LC	Cota TS (PC)	Cota SC	Cota CS	Cota ST (PT)	Rampa LC1	Rampa LC2	Grade	Chord length	Chord Direction	External Tangent	PI Included Angle	PI Station
2	Curve S	154,03	600,00	58,00	591,302	591,482	594,856	596,209	-0,310	-2,333	-1,817	153,602	271° 54' 08,41"	77,438	159,7531 (d)	0+159,84
5	Curve S	182,19	700,00	58,00	600,320	599,140	595,686	593,875	2,034	3,122	2,161	181,674	273° 55' 32,69"	91,612	160,3404 (d)	0+852,59
7	Curve	52,30	3000,00		580,405			582,536			-4,075	52,294	283° 15' 22,28"	26,148	179,0012 (d)	1+490,37
9	Curve	125,73	600,00	42,00	590,045	591,710	594,180	594,520	-3,964	-0,810	-2,134	125,504	274° 44' 53,21"	63,098	163,9826 (d)	1+809,37
11	Curve	15,29	5000,00		603,738			603,572			1,086	15,286	266° 39' 06,61"	7,643	179,8248 (d)	5+954,09
13	Curve	29,54	2200,00		598,209			597,575			2,146	29,544	266° 56' 56,29"	14,772	179,2306 (d)	6+991,56
15	Curve	21,24	2200,00		595,895			595,407			2,298	21,237	267° 03' 25,67"	10,619	179,4469 (d)	7+111,95
17	Curve	13,69	3000,00		592,900			592,920			-0,146	13,685	266° 38' 59,63"	6,843	179,7386 (d)	8+945,37
19	Curve	21,87	3000,00		594,978			595,242			-1,207	21,866	266° 43' 40,86"	10,933	179,5824 (d)	9+633,53
21	Curve	11,95	3000,00		605,778			605,924			-1,221	11,954	266° 49' 21,59"	5,977	179,7717 (d)	10+431,96
23	Curve	4,24	3000,00		609,239			609,267			-0,661	4,236	266° 44' 56,28"	2,118	179,9191 (d)	12+301,43
25	Curve S	150,01	650,00	35,00	610,956	611,946	615,704	616,768	-2,829	-3,040	-2,642	149,677	258° 38' 07,26"	75,34	163,6919 (d)	14+273,56
27	Curve S	89,35	650,00	52,00	622,082	621,985	622,071	620,934	0,187	2,187	0,594	89,279	256° 42' 39,75"	44,745	167,5405 (d)	14+806,31
29	Curve	31,81	3000,00		605,682			603,910			5,571	31,805	263° 14' 40,29"	15,903	179,3926 (d)	15+199,60
31	Curve	26,33	3000,00		588,824			589,138			-1,193	26,33	263° 17' 48,53"	13,165	179,4971 (d)	15+572,15
33	Curve	12,75	3000,00		603,584			602,586			7,827	12,75	263° 10' 01,70"	6,375	179,7565 (d)	16+541,71
35	Curve	4,80	3000,00		609,000			609,128			-2,669	4,795	263° 14' 35,18"	2,398	179,9084 (d)	17+038,01
37	Curve	139,90	1200,00		640,177			637,026			2,252	139,822	266° 32' 13,96"	70,03	173,3202 (d)	19+111,55
39	Curve	9,00	3000,00		627,332			626,975			3,965	9,003	269° 47' 28,06"	4,502	179,8280 (d)	19+536,56
41	Curve	47,26	3000,00		602,871			599,740			6,625	47,257	270° 09' 23,14"	23,629	179,0975 (d)	20+048,47
43	Curve	37,57	3000,00		590,071			595,320			13,971	37,572	270° 14' 56,07"	18,786	179,2824 (d)	20+189,65
45	Curve S	161,97	680,00	35,00	618,057	620,186	628,338	629,907	-6,083	-4,483	-5,108	161,59	261° 35' 30,47"	81,372	163,4034 (d)	21+031,70
47	Curve S	133,84	520,00	42,00	635,988	637,066	641,079	642,415	-2,567	-3,181	-2,950	133,475	262° 58' 51,94"	67,294	160,6248 (d)	22+000,35
49	Curve S	111,11	230,00	58,00	644,090	644,231	642,456	641,245	-0,243	2,088	1,253	110,032	293° 43' 56,05"	56,661	137,8730 (d)	22+343,80

51	Curve S	112,12	400,00	58,00	639,808	638,687	635,800	634,880	1,933	1,586	2,160	111,754	302° 36' 42,40"	56,43	155,6320 (d)	22+700,10
53	Curve S	100,73	380,00	58,00	622,725	620,202	615,486	612,741	4,350	4,733	4,607	100,439	278° 27' 39,68"	50,664	156,0664 (d)	23+235,47
55	Curve	15,48	3000,00		586,856			587,480			-4,030	15,484	266° 20' 46,96"	7,742	179,7043 (d)	24+018,21
57	Curve	55,81	3000,00		586,843			588,031			-2,129	55,805	266° 43' 53,13"	27,904	178,9342 (d)	24+321,15
59	Curve	41,87	3000,00		590,245			592,748			-5,978	41,872	266° 51' 52,12"	20,937	179,2003 (d)	24+411,03
61	Curve S	99,90	330,00	58,00	620,087	620,460	618,685	617,844	-0,643	1,450	1,039	99,517	252° 45' 26,10"	50,334	152,5853 (d)	26+161,04
63	Curve	19,51	3000,00		602,582			601,789			4,064	19,511	238° 51' 48,81"	9,756	179,6274 (d)	26+772,36
65	Curve	30,50	3000,00		601,035			602,311			-4,184	30,495	238° 58' 06,41"	15,248	179,4176 (d)	27+158,06
67	Curve S	168,26	700,00	58,00	614,795	614,862	611,179	609,852	-0,116	2,288	1,739	167,854	248° 31' 09,96"	84,537	161,4804 (d)	27+724,43
69	Curve S	365,24	600,00	37,00	613,269	612,684	613,981	612,842	1,581	3,078	0,097	359,63	276° 59' 05,67"	188,478	141,5886 (d)	28+742,21
71	Curve S	288,42	600,00	37,00	631,781	634,837	634,058	633,714	-8,259	0,930	-0,533	285,648	277° 38' 42,24"	147,051	142,9089 (d)	30+438,87
73	Curve	4,73	3000,00		640,172			640,244			-1,523	4,727	259° 03' 15,82"	2,363	179,9097 (d)	31+486,97
75	Curve	2,44	3000,00		647,689			647,671			0,737	2,442	259° 01' 57,27"	1,221	179,9534 (d)	32+571,25
77	Curve	0,23	5000,00		639,877			639,877			0,000	0,231	259° 03' 25,97"	0,115	179,9974 (d)	33+535,38
79	Curve	129,18	1200,00		651,169			648,836			1,806	129,115	262° 08' 32,72"	64,651	173,8322 (d)	34+862,44
81	Curve	21,59	3000,00		647,569			647,318			1,163	21,586	265° 01' 12,65"	10,793	179,5877 (d)	35+019,60
83	Curve	22,62	3000,00		637,824			638,458			-2,803	22,616	265° 01' 48,04"	11,308	179,5681 (d)	35+520,67
85	Curve	17,89	3000,00		646,082			647,085			-5,605	17,894	265° 04' 30,37"	8,947	179,6583 (d)	35+770,84
87	Curve	2,33	3000,00		674,255			674,255			0,000	2,325	264° 55' 35,15"	1,162	179,9556 (d)	36+535,66
89	Curve	1,27	3000,00		671,015			671,047			-2,526	1,267	264° 57' 38,63"	0,634	179,9758 (d)	37+353,13
91	Curve	13,05	3000,00		669,985			669,408			4,420	13,053	264° 50' 53,45"	6,527	179,7507 (d)	38+192,58
93	Curve	24,20	1200,00		661,983			661,667			1,306	24,196	265° 18' 04,24"	12,099	178,8447 (d)	38+375,17
95	Curve	19,20	1200,00		662,859			663,690			-4,329	19,198	265° 25' 13,80"	9,599	179,0833 (d)	38+458,17
97	Curve	1,74	3000,00		676,048			676,043			0,287	1,74	264° 58' 43,63"	0,87	179,9668 (d)	39+148,24
99	Curve	3,40	3000,00		680,108			680,215			-3,148	3,399	265° 01' 40,30"	1,7	179,9351 (d)	40+136,39
101	Curve	7,17	3000,00		684,068			683,948			1,673	7,171	264° 59' 30,66"	3,585	179,8630 (d)	40+806,49
103	Curve	34,68	3000,00		680,878			680,064			2,347	34,676	265° 15' 16,24"	17,338	179,3377 (d)	41+176,08
105	Curve	28,23	3000,00		677,868			676,965			3,199	28,229	265° 18' 57,90"	14,114	179,4609 (d)	41+274,05
107	Curve	5,82	3000,00		676,970			676,843			2,183	5,818	264° 59' 27,46"	2,909	179,8889 (d)	41+807,40
109	Curve	10,11	3000,00		649,952			654,617			-	46,124	265° 01' 55,12"	5,057	179,8068 (d)	42+722,26

111	Curve S	123,57	1000,00	24,00	668,955	669,655	672,588	672,730	-2,917	-0,592	-2,200	123,487	260° 54' 04,00"	61,862	171,5451 (d)	43+381,93
113	Curve	5,38	3000,00		674,812			674,648			3,051	5,375	256° 37' 20,40"	2,688	179,8973 (d)	44+762,22
115	Curve	165,04	1000,00		672,564			673,244			-0,412	164,851	251° 50' 34,86"	82,707	170,5440 (d)	45+417,96
117	Curve S	165,56	700,00	80,00	664,211	665,589	670,322	672,299	-1,723	-2,471	-2,484	165,178	257° 09' 53,50"	83,17	159,9003 (d)	47+090,20
119	Curve	1,45	3000,00		692,789			692,554			16,196	1,451	267° 13' 42,78"	0,726	179,9723 (d)	53+990,07
121	Curve S	139,43	850,00	29,00	693,071	691,247	683,072	681,095	6,290	6,817	6,066	139,272	272° 55' 08,48"	69,871	168,6468 (d)	55+723,05
123	Curve	11,02	3000,00		659,116			659,000			1,053	11,015	278° 29' 25,62"	5,507	179,7896 (d)	56+247,56
125	Curve	10,98	3000,00		668,822			669,182			-3,278	10,981	278° 29' 24,48"	5,491	179,7903 (d)	56+737,17
127	Curve	14,58	3000,00		663,112			663,188			-0,521	14,576	278° 44' 03,08"	7,288	179,7216 (d)	57+689,26
129	Curve	15,23	3000,00		654,225			654,973			-4,911	15,23	278° 43' 40,61"	7,615	179,7091 (d)	58+355,44
131	Curve	2,06	3000,00		663,441			663,447			-0,292	2,055	278° 36' 07,71"	1,028	179,9607 (d)	59+546,87
133	Curve	11,62	1200,00		686,915			686,972			-0,491	11,62	278° 53' 57,03"	5,81	179,4452 (d)	61+186,59
135	Curve S	94,83	230,00	58,00	684,428	681,211	675,294	671,703	5,547	6,191	6,036	94,164	260° 08' 24,48"	48,101	141,9271 (d)	61+422,02
137	Curve	6,87	3000,00		660,759			660,215			7,918	6,87	241° 10' 09,45"	3,435	179,8688 (d)	62+045,95
139	Curve	1,47	3000,00		644,639			644,615			1,638	1,465	241° 14' 55,98"	0,732	179,9720 (d)	62+423,46
141	Curve	128,39	1200,00		649,327			649,404			-0,060	128,33	244° 19' 40,73"	64,257	173,8698 (d)	63+167,45
143	Curve	0,05	3000,00		631,588			631,588			0,000	0,046	247° 23' 36,72"	0,023	179,9991 (d)	65+323,64
145	Curve	107,79	1800,00		624,313			621,218			2,871	107,769	245° 40' 42,66"	53,909	176,5691 (d)	65+912,31
147	Curve	0,74	3000,00		613,352			613,352			0,000	0,736	243° 58' 12,31"	0,368	179,9859 (d)	66+443,59
149	Curve	2,06	3000,00		610,820			610,844			-1,163	2,064	243° 59' 48,58"	1,032	179,9606 (d)	66+804,66
151	Curve	7,56	3000,00		621,734			621,525			2,765	7,559	243° 56' 39,68"	3,779	179,8556 (d)	67+298,46
153	Curve	167,33	1200,00		615,846			618,886			-1,817	167,198	247° 52' 01,07"	83,802	172,0104 (d)	67+820,41
155	Curve S	96,55	900,00	27,00	614,413	615,668	619,683	620,629	-4,648	-3,504	-4,129	96,506	255° 47' 40,38"	48,323	172,1344 (d)	70+331,78
157	Curve	9,23	3000,00		612,818			612,742			0,823	9,231	259° 38' 21,13"	4,616	179,8237 (d)	72+606,81
159	Curve	9,00	3000,00		612,934			612,870			0,712	8,995	259° 38' 13,03"	4,498	179,8282 (d)	73+218,53
161	Curve	8,73	3000,00		609,130			609,208			-0,894	8,725	259° 38' 22,34"	4,362	179,8334 (d)	74+425,49
163	Curve S	152,29	600,00	70,00	593,795	595,180	599,812	602,251	-1,979	-3,484	-2,893	151,878	270° 10' 10,71"	76,555	158,7732 (d)	75+256,92
165	Curve	2,64	3000,00		609,872			609,821			1,935	2,635	280° 45' 28,43"	1,317	179,9497 (d)	75+920,09
167	Curve	6,07	3000,00		632,706			632,857			-2,489	6,066	280° 47' 26,39"	3,033	179,8841 (d)	78+250,10
169	Curve	12,58	3000,00		622,495			622,515			-0,159	12,579	280° 43' 42,48"	6,29	179,7598 (d)	78+903,88
171	Curve S	120,93	600,00	80,00	628,931	632,548	633,601	631,216	-4,521	2,981	-0,813	120,725	271° 00' 52,82"	60,67	160,8127 (d)	79+344,76

173	Curve	21,99	3000,00		617,100			617,200			-0,455	21,988	261° 37' 51,50"	10,994	179,5801 (d)	79+878,12
175	Curve	15,08	3000,00		615,670			615,735			-0,431	15,082	261° 41' 48,94"	7,541	179,7120 (d)	81+051,20
177	Curve	29,32	3000,00		618,391			618,600			-0,713	29,324	261° 49' 58,56"	14,662	179,4399 (d)	81+364,65
179	Curve	18,10	3000,00		624,580			624,947			-2,028	18,095	261° 56' 24,60"	9,048	179,6544 (d)	81+563,43
181	Curve	137,67	3000,00		625,822			625,702			0,087	137,655	263° 04' 55,19"	68,846	177,3707 (d)	81+958,59
183	Curve S	107,45	500,00	58,00	625,578	625,368	625,496	626,283	0,362	-1,357	-0,316	107,245	273° 52' 34,60"	53,933	161,0407 (d)	82+778,40
185	Curve S	259,67	600,00	58,00	630,651	631,754	637,464	638,976	-1,902	-2,607	-2,216	257,643	268° 11' 18,83"	131,897	149,6653 (d)	83+310,26
187	Curve S	137,30	900,00	27,00	645,407	644,924	645,257	645,223	1,789	0,126	0,096	137,162	258° 15' 03,16"	68,781	169,5406 (d)	84+847,54
189	Curve	220,70	3500,00		638,166			643,718			-2,516	220,668	265° 17' 13,37"	110,389	176,3870 (d)	85+288,86
191	Curve	84,68	1800,00		643,534			642,755			0,920	84,673	265° 44' 44,88"	42,348	177,3045 (d)	85+798,87
193	Curve	147,05	1500,00		644,320			643,971			0,237	146,988	261° 35' 22,83"	73,582	174,3832 (d)	86+243,91
195	Curve S	127,71	900,00	27,00	645,874	645,826	646,760	647,364	0,178	-2,237	-0,820	127,598	263° 42' 20,49"	63,96	170,1512 (d)	86+813,63
197	Curve	213,72	900,00		648,129			654,619			-3,037	213,215	261° 49' 38,24"	107,363	166,3944 (d)	87+049,36
199	Curve S	209,10	230,00	58,00	655,272	656,468	656,115	657,372	-2,062	-2,167	-0,646	201,973	221° 45' 19,80"	112,401	113,4620 (d)	87+347,02
201	Curve S	279,35	230,00	58,00	657,870	660,601	679,448	683,363	-4,709	-6,750	-6,448	262,496	230° 30' 21,08"	159,825	095,9613 (d)	87+734,31
203	Curve S	253,01	550,00	42,00	683,486	686,258	702,957	705,651	-6,600	-6,414	-6,577	250,786	257° 09' 32,22"	128,784	149,2675 (d)	88+084,06
205	Curve S	48,77	380,00	58,00	710,218	714,442	717,998	721,983	-7,283	-6,871	-7,140	48,74	249° 50' 32,15"	24,42	163,9009 (d)	88+407,99
207	Curve S	240,09	580,00	58,00	726,251	729,926	743,784	747,135	-6,336	-5,778	-5,865	238,382	243° 10' 05,35"	121,79	150,5527 (d)	88+732,61
209	Curve S	266,11	300,00	58,00	755,461	756,067	763,794	762,807	-1,045	1,702	-1,922	257,474	259° 23' 42,08"	142,527	118,0989 (d)	89+361,70
211	Curve S	83,89	550,00	58,00	761,091	761,722	761,151	759,528	-1,088	2,798	0,782	83,811	282° 57' 17,34"	42,027	165,2185 (d)	89+816,83
213	Curve	57,27	3000,00		744,491			746,023			-2,675	57,273	275° 01' 01,76"	28,638	178,9062 (d)	90+292,23
215	Curve	56,74	3000,00		761,774			765,175			-5,994	56,735	275° 00' 43,26"	28,369	178,9164 (d)	90+583,89
217	Curve S	97,45	900,00	27,00	784,776	785,451	785,719	784,977	-2,500	2,748	-0,133	97,403	279° 30' 54,73"	48,773	172,0772 (d)	91+048,55
219	Curve S	175,64	600,00	58,00	778,147	778,906	779,188	777,592	-1,309	2,752	0,190	175,011	272° 19' 16,44"	88,451	157,6893 (d)	92+081,24
221	Curve S	98,91	850,00	29,00	765,146	764,352	761,327	760,472	2,738	2,948	2,979	98,855	265° 28' 36,75"	49,511	171,3780 (d)	92+693,38
223	Curve	19,12	3000,00		756,475			756,192			1,480	19,122	269° 36' 19,01"	9,561	179,6348 (d)	93+194,32
225	Curve	38,18	3000,00		738,907			738,022			2,318	38,177	269° 47' 14,05"	19,089	179,2709 (d)	93+644,60
227	Curve	97,98	821,29		737,131			735,849			1,308	97,918	266° 44' 03,25"	49,046	173,1649 (d)	93+946,88
229	Curve S	224,45	600,00	37,00	734,277	733,564	728,607	727,942	1,927	1,797	2,123	223,145	250° 49' 59,77"	113,553	155,0332 (d)	94+797,50
231	Curve S	106,41	400,00	58,00	727,049	726,184	725,523	725,150	1,491	0,643	0,854	106,1	250° 07' 30,41"	53,523	156,4495 (d)	95+099,47
233	Curve	81,32	2000,00		727,464			728,472			-1,240	81,31	260° 44' 08,15"	40,664	177,6705 (d)	95+437,68

235	Curve S	139,87	500,00	58,00	719,813	717,573	713,971	712,362	3,862	2,774	2,912	139,415	270° 54' 28,80"	70,395	157,3257 (d)	95+878,64
237	Curve S	171,22	650,00	58,00	708,621	708,352	710,716	711,379	0,464	-1,143	-0,960	170,722	272° 08' 33,94"	86,107	159,7952 (d)	96+390,87
239	Curve	104,77	3000,00		697,778			701,692			-3,736	104,762	261° 02' 23,65"	52,389	177,9991 (d)	97+429,59
241	Curve	195,61	2500,00		707,443			710,810			-1,721	195,562	257° 47' 52,45"	97,856	175,5169 (d)	98+090,89
243	Curve	102,79	1200,00		714,363			719,567			-5,063	102,761	253° 06' 08,50"	51,428	175,0920 (d)	98+823,71
245	Curve S	75,79	650,00	35,00	724,340	724,624	725,052	725,098	-0,811	-0,131	-0,520	75,742	255° 31' 51,79"	37,935	170,2346 (d)	99+145,24
247	Curve	22,31	3000,00		731,560			732,821			-5,653	22,304	260° 12' 02,67"	11,152	179,5740 (d)	99+537,72
249	Curve	131,13	3795,00		740,693			742,356			-1,268	131,12	258° 59' 52,43"	65,57	178,0203 (d)	99+778,23
251	Curve S	159,72	500,00	58,00	736,008	732,724	724,511	722,402	5,662	3,636	4,935	159,042	270° 28' 57,00"	80,546	155,0511 (d)	100+240,11
253	Curve	36,61	3000,00		717,984			717,892			0,251	36,61	282° 36' 26,49"	18,305	179,3008 (d)	100+515,83
255	Curve S	115,22	450,00	58,00	681,781	682,189	682,304	681,986	-0,703	0,548	-0,089	114,909	271° 13' 48,00"	57,929	157,9445 (d)	101+480,71
257	Curve S	23,46	125,00	40,00	688,818	687,586	686,369	683,201	3,080	7,920	5,429	23,426	245° 39' 29,75"	11,765	150,9120 (d)	102+091,58
259	Curve	110,81	500,00		677,405			678,004			-0,541	110,583	237° 27' 47,51"	55,633	167,3022 (d)	102+565,22
261	Curve	50,14	230,00		676,043			674,221			3,634	50,041	237° 34' 00,48"	25,17	167,5094 (d)	102+695,29
263	Curve S	146,58	550,00	58,00	670,902	672,907	675,697	675,310	-3,457	0,667	-1,679	146,141	241° 58' 37,84"	73,724	158,6886 (d)	103+212,84
265	Curve	12,88	50,00		672,431			671,968			3,596	12,839	245° 15' 22,27"	6,473	165,2466 (d)	103+500,22
267	Curve	15,12	50,00		671,473			671,010			3,062	15,063	246° 32' 33,60"	7,618	162,6737 (d)	103+537,60
269	Curve S	33,25	230,00	58,00	670,175	668,854	667,929	666,588	2,278	2,312	2,403	33,223	266° 34' 18,62"	16,655	157,2680 (d)	103+670,21
271	Curve	9,45	40,00		666,632			666,428			2,159	9,428	284° 42' 22,43"	4,747	166,4632 (d)	103+753,79
273	Curve S	56,41	280,00	38,00	666,295	665,849	665,202	664,825	1,174	0,992	1,110	56,313	301° 08' 01,91"	28,3	160,6815 (d)	103+828,20
275	Curve	17,28	1800,00		659,752			659,320			2,500	17,277	310° 31' 05,31"	8,639	179,4500 (d)	104+608,02
277	Curve S	66,60	600,00	37,00	654,355	654,237	654,066	653,844	0,319	0,600	0,363	66,561	315° 11' 22,13"	33,332	170,1074 (d)	105+119,51
279	Curve S	48,20	500,00	42,00	648,463	648,996	649,559	649,482	-1,269	0,183	-0,771	48,178	314° 58' 04,39"	24,117	169,6642 (d)	106+295,43
281	Curve S	139,56	350,00	58,00	646,696	646,733	645,826	645,493	-0,064	0,574	0,471	138,64	293° 37' 45,30"	70,721	147,6585 (d)	107+034,42
283	Curve S	169,25	600,00	50,00	625,614	625,247	623,979	623,697	0,734	0,564	0,712	168,692	266° 59' 23,89"	85,192	159,0629 (d)	111+169,17
285	Curve S	104,20	600,00	37,00	602,296	603,093	605,408	606,251	-2,154	-2,278	-2,219	104,072	263° 15' 48,04"	52,233	166,5161 (d)	112+932,04
287	Curve	152,04	1800,00		604,938			604,035			0,594	151,991	272° 25' 29,98"	76,063	175,1606 (d)	114+631,35
289	Curve	100,69	1800,00		604,670			605,994			-1,315	100,678	273° 14' 31,82"	50,359	176,7949 (d)	118+204,25
291	Curve	415,29	2200,00		605,218			615,107			-2,381	414,676	266° 13' 54,45"	208,265	169,1843 (d)	118+516,50
293	Curve	284,50	550,00		617,612			615,893			0,604	281,334	275° 38' 32,98"	145,507	150,3629 (d)	119+049,95
295	Curve	71,79	500,00		614,854			613,273			2,202	71,73	294° 34' 27,77"	35,957	171,7733 (d)	119+259,62

298	Curve	221,95	600,00		612,348			612,364			-0,007	220,683	285° 56' 03,91"	112,256	158,8057 (d)	119+487,12
300	Curve	18,16	1200,00		594,435			594,678			-1,338	18,16	274° 54' 13,47"	9,08	179,1329 (d)	119+918,52
302	Curve S	193,92	600,00	58,00	588,745	586,597	582,535	581,531	3,703	1,731	2,328	193,077	286° 29' 54,52"	97,813	155,9435 (d)	120+571,87
304	Curve	2,19	3000,00		587,893			587,893			0,000	2,185	298° 30' 21,19"	1,092	179,9583 (d)	121+724,51
306	Curve	19,74	1200,00		563,919			563,299			3,141	19,741	298° 57' 22,72"	9,871	179,0574 (d)	125+694,97
308	Curve	34,49	1200,00		562,753			562,189			1,635	34,492	298° 36' 14,86"	17,248	178,3531 (d)	125+750,08
310	Curve S	102,45	350,00	58,00	564,000	563,000	562,000	561,000	1,724	1,724	1,373	102,083	310° 54' 48,60"	51,593	153,7343 (d)	125+972,26
312	Curve	11,26	1200,00		568,000			571,000			26,645	11,259	324° 18' 54,52"	5,63	179,4624 (d)	126+512,46
314	Curve	9,89	1200,00		573,417			573,369			0,485	9,892	324° 20' 52,02"	4,946	179,5277 (d)	126+997,91
316	Curve	201,06	1200,00		569,855			566,368			1,734	200,823	319° 18' 42,21"	100,765	170,4002 (d)	127+302,19
318	Curve	26,25	1200,00		577,580			578,127			-2,084	26,253	315° 08' 18,89"	13,127	178,7465 (d)	128+139,14
320	Curve	34,96	1200,00		575,277			573,820			4,168	34,955	314° 55' 50,96"	17,479	178,3310 (d)	128+399,73
322	Curve	19,21	1200,00		582,760			583,461			-3,649	19,209	314° 33' 17,64"	9,605	179,0828 (d)	128+848,16
324	Curve	143,58	773,97		585,442			585,514			-0,050	143,371	309° 41' 56,80"	71,995	169,3712 (d)	129+001,43
326	Curve	32,99	178,94		580,817			580,063			2,286	32,938	309° 39' 56,06"	16,539	169,4383 (d)	129+317,60
328	Curve	53,36	300,00		579,686			579,347			0,635	53,285	309° 51' 04,80"	26,748	169,8098 (d)	129+381,68
330	Curve S	31,78	300,00	58,00	579,270	579,128	578,953	578,525	0,245	0,738	0,504	31,761	296° 10' 59,84"	15,903	162,8541 (d)	129+494,95
334	Curve	8,20	3000,00		536,123			536,085			0,463	8,203	299° 25' 02,37"	4,101	179,8433 (d)	132+733,40
336	Curve	36,08	3000,00		533,866			533,472			1,092	36,079	299° 09' 04,04"	18,04	179,3109 (d)	133+214,66
338	Curve	38,62	3000,00		537,226			537,113			0,293	38,618	299° 10' 31,32"	19,309	179,2624 (d)	133+502,79
340	Curve	37,45	3000,00		535,000			535,505			-1,348	37,453	299° 11' 11,37"	18,727	179,2847 (d)	133+679,64
342	Curve	52,71	3000,00		535,197			535,582			-0,730	52,709	299° 19' 55,84"	26,355	178,9933 (d)	133+845,80
344	Curve	48,08	3000,00		535,664			536,085			-0,876	48,075	299° 22' 35,13"	24,038	179,0818 (d)	133+918,81
346	Curve	35,64	3000,00		536,122			535,587			1,501	35,635	299° 15' 27,45"	17,818	179,3194 (d)	134+047,47
348	Curve	80,73	3000,00		530,751			530,537			0,265	80,731	298° 49' 37,10"	40,369	178,4581 (d)	134+284,37
350	Curve	100,75	3000,00		532,523			534,205			-1,669	100,749	299° 01' 05,37"	50,382	178,0757 (d)	134+457,60
352	Curve	37,04	3000,00		532,271			531,145			3,040	37,041	299° 37' 35,65"	18,521	179,2926 (d)	134+683,44
354	Curve	6,24	3000,00		523,687			523,621			1,058	6,24	299° 12' 47,74"	3,12	179,8808 (d)	135+044,01
356	Curve	10,19	3000,00		526,076			526,065			0,108	10,186	299° 15' 03,37"	5,093	179,8055 (d)	136+340,28
358	Curve	167,70	1200,00		529,962			531,434			-0,878	167,565	303° 21' 06,45"	83,988	171,9928 (d)	137+599,75

360	Curve	203,95	1200,00		513,347			507,350			2,940	203,7	302° 29' 11,52"	102,219	170,2623 (d)	138+972,15
362	Curve S	203,85	820,00	37,00	518,706	518,755	516,901	517,185	-0,132	-0,768	0,547	203,32	306° 01' 54,99"	102,45	163,1715 (d)	140+759,15
364	Curve	0,39	3000,00		523,277			523,277			0,000	0,391	314° 26' 32,87"	0,196	179,9925 (d)	141+129,73
366	Curve S	184,03	600,00	58,00	524,098	524,076	522,188	522,564	0,038	-0,648	0,511	183,312	325° 59' 41,82"	92,745	156,8876 (d)	142+767,57
368	Curve	73,97	1200,00		511,416			512,168			-1,017	73,957	335° 47' 07,05"	36,996	176,4682 (d)	144+740,69
370	Curve	11,47	3000,00		512,622			512,676			-0,471	11,467	333° 54' 35,66"	5,734	179,7810 (d)	144+912,98
372	Curve	178,39	1200,00		518,083			521,075			-1,677	178,226	329° 32' 29,96"	89,36	171,4825 (d)	148+403,48
374	Curve	31,16	1200,00		526,044			526,445			-1,287	31,161	326° 01' 36,62"	15,582	178,5121 (d)	151+919,79
376	Curve	245,26	1200,00		509,314			509,132			0,074	244,83	320° 54' 56,54"	123,057	168,2899 (d)	155+927,47
378	Curve	9,28	1200,00		504,237			503,946			3,135	9,282	315° 16' 56,06"	4,641	179,5568 (d)	156+227,89
380	Curve	141,17	1200,00		495,188			494,824			0,258	141,084	318° 52' 26,02"	70,664	173,2599 (d)	158+529,40
382	Curve	4,54	1200,00		497,486			498,014			-	11,638	322° 21' 08,15"	2,268	179,7834 (d)	159+521,56
384	Curve S	175,65	430,00	46,00	518,197	520,031	522,164	521,214	-3,987	2,065	-1,127	174,427	337° 13' 38,21"	89,065	150,4666 (d)	160+369,51
386	Curve S	97,31	280,00	58,00	508,275	508,494	506,658	504,197	-0,378	4,243	1,912	96,821	336° 06' 13,03"	49,151	148,2193 (d)	162+503,37
388	Curve	4,92	1200,00		498,421			498,684			-5,349	4,917	320° 19' 50,24"	2,458	179,7652 (d)	163+788,47
390	Curve S	167,14	250,00	58,00	510,901	510,630	511,514	512,262	0,467	-1,290	-0,481	164,047	294° 38' 55,02"	86,83	128,4012 (d)	164+223,04
392	Curve S	87,73	678,00	35,00	495,549	494,536	491,215	489,186	2,894	5,797	4,034	87,669	274° 02' 06,15"	43,927	169,6284 (d)	165+535,75
394	Curve	0,54	1200,00		505,000			505,000			0,000	0,539	279° 12' 28,68"	0,27	179,9742 (d)	168+106,42
396	Curve S	26,38	380,00	55,00	517,000	518,000	517,000	517,000	-1,818	0,000	0,000	26,375	285° 19' 49,04"	13,195	167,7296 (d)	168+802,26
398	Curve	6,79	1200,00		509,000			509,000			0,000	6,793	291° 37' 39,61"	3,397	179,6756 (d)	169+036,56
400	Curve	7,20	1200,00		508,000			508,000			0,000	7,198	291° 37' 04,88"	3,599	179,6563 (d)	169+288,97
402	Curve	145,16	1200,00		503,000			503,000			0,000	145,076	294° 54' 42,27"	72,671	173,0689 (d)	169+983,91
404	Curve	7,39	1200,00		497,642			497,613			0,393	7,388	298° 33' 13,18"	3,694	179,6473 (d)	171+043,63
406	Curve	17,69	1200,00		497,249			497,176			0,413	17,69	298° 18' 27,77"	8,845	179,1554 (d)	171+298,39
408	Curve	12,70	1200,00		496,651			496,575			0,599	12,695	298° 11' 18,51"	6,348	179,3938 (d)	171+413,14
410	Curve S	109,29	600,00	37,00	509,077	509,378	509,347	509,073	-0,814	0,741	0,002	109,137	305° 28' 34,62"	54,796	166,0305 (d)	172+737,99
412	Curve S	312,68	680,00	35,00	517,941	519,454	520,468	519,494	-4,323	2,783	-0,406	309,932	297° 48' 48,71"	159,154	150,7050 (d)	176+340,35
414	Curve S	274,90	950,00	26,00	515,954	516,397	512,748	512,359	-1,704	1,496	1,100	273,944	274° 05' 31,65"	138,419	161,8522 (d)	177+031,80
416	Curve	200,28	1200,00		514,586			512,980			0,802	200,048	269° 47' 58,40"	100,373	170,4373 (d)	177+548,56
418	Curve	1,93	1200,00		522,175			522,175			0,000	1,934	274° 37' 37,50"	0,967	179,9076 (d)	179+239,43

420	Curve	0,82	1200,00		524,021			524,021			0,000	0,822	274° 39' 13,09"	0,411	179,9607 (d)	179+513,88
422	Curve	7,73	1200,00		537,330			537,305			0,323	7,73	274° 26' 58,13"	3,865	179,6309 (d)	180+858,80
424	Curve	0,61	1200,00		556,363			556,363			0,000	0,613	274° 16' 46,48"	0,306	179,9707 (d)	182+064,74
426	Curve S	114,24	600,00	37,00	555,680	556,375	556,793	556,275	-1,878	1,400	-0,316	114,066	281° 30' 55,19"	57,293	165,5578 (d)	182+967,38
428	Curve	11,17	1200,00		551,220			550,868			3,151	11,171	288° 28' 11,17"	5,585	179,4666 (d)	183+646,07
430	Curve S	110,77	600,00	37,00	541,438	541,133	540,436	540,433	0,824	0,008	0,544	110,615	281° 08' 50,97"	55,544	165,8888 (d)	184+450,34
432	Curve S	98,26	900,00	27,00	586,733	587,964	592,209	593,247	-4,559	-3,844	-4,278	98,209	278° 04' 44,29"	49,178	172,0259 (d)	186+305,79
434	Curve S	158,72	450,00	58,00	574,733	575,378	575,434	575,444	-1,112	-0,017	-0,259	157,903	268° 16' 08,14"	80,195	152,4058 (d)	187+858,09
437	Curve S	145,03	900,00	37,00	602,366	603,950	611,562	613,719	-4,281	-5,830	-5,183	144,873	248° 15' 45,01"	72,672	168,4116 (d)	189+465,71
439	Curve S	137,87	700,00	37,00	627,510	629,009	631,760	631,464	-4,051	0,800	-1,866	137,65	249° 37' 30,37"	69,16	165,6864 (d)	189+929,75
441	Curve S	159,00	850,00	29,00	617,278	617,008	613,482	612,505	0,931	3,369	2,200	158,769	263° 07' 05,39"	79,733	167,3274 (d)	190+816,34
443	Curve	57,44	1200,00		605,956			605,581			0,653	57,438	268° 04' 59,11"	28,727	177,2573 (d)	192+634,79
445	Curve	131,82	1200,00		575,701			574,517			0,898	131,758	263° 33' 52,80"	65,978	173,7059 (d)	194+165,01
447	Curve	6,83	1200,00		579,529			579,297			3,395	6,833	260° 15' 16,17"	3,416	179,6738 (d)	194+972,93
450	Curve S	130,32	650,00	37,00	587,487	587,297	586,083	584,661	0,514	3,843	1,383	130,105	267° 42' 30,91"	65,381	165,2509 (d)	196+601,74
452	Curve	8,79	1200,00		584,550			584,661			-1,264	8,785	274° 52' 24,19"	4,393	179,5805 (d)	197+055,30
454	Curve S	174,93	900,00	27,00	581,442	582,583	585,205	585,011	-4,226	0,719	-1,559	174,658	281° 05' 29,00"	87,743	167,1445 (d)	198+389,26
456	Curve S	187,52	900,00	27,00	584,715	584,985	582,087	580,935	-1,000	4,267	1,565	187,18	294° 20' 50,98"	94,1	166,3433 (d)	199+241,55
458	Curve S	234,16	850,00	29,00	577,732	578,745	585,225	585,980	-3,493	-2,603	-2,823	233,42	310° 02' 42,89"	117,826	162,2612 (d)	199+770,65
460	Curve S	169,05	600,00	58,00	603,778	604,908	604,586	602,961	-1,948	2,802	0,287	168,489	308° 04' 26,02"	85,088	158,3185 (d)	201+445,35
462	Curve S	183,60	600,00	58,00	612,434	613,847	613,997	612,269	-2,436	2,979	0,055	182,887	308° 46' 07,80"	92,524	156,9286 (d)	202+381,92
464	Curve S	125,77	300,00	58,00	591,430	593,810	596,121	595,093	-4,103	1,772	-1,515	124,848	302° 45' 21,87"	63,821	144,9031 (d)	203+721,31
466	Curve	14,98	1200,00		589,091			588,757			2,229	14,982	285° 33' 55,15"	7,491	179,2846 (d)	204+285,62
468	Curve	52,50	1200,00		587,605			587,171			0,827	52,491	287° 10' 34,40"	26,252	177,4935 (d)	204+411,77
470	Curve	66,34	1200,00		587,612			587,406			0,311	66,335	286° 50' 44,24"	33,18	176,8323 (d)	204+667,32
472	Curve S	108,29	350,00	58,00	566,204	565,761	564,210	563,437	0,764	1,333	1,234	107,857	298° 52' 21,64"	54,58	152,7782 (d)	205+917,16
474	Curve S	136,84	700,00	58,00	560,743	560,490	559,625	559,133	0,436	0,848	0,637	136,617	304° 30' 35,44"	68,636	164,0526 (d)	206+368,91
476	Curve	139,49	1200,00		555,189			554,822			0,263	139,413	299° 51' 58,45"	69,824	173,3398 (d)	207+282,96
478	Curve S	83,78	230,00	58,00	553,395	554,719	558,180	560,830	-2,283	-4,569	-3,722	83,319	285° 32' 11,69"	42,36	144,6805 (d)	207+937,89

QUADRO DE CURVAS DE COMPRIMENTOS MENORES DO QUE 100M (SEGMENTAÇÃO 1)

RAIO	VMDA	CONDIÇÕES DA RODOVIA					
		Faixa	Acostamento		Grade	Iluminação	Controle de Velocidade
		Largura (m)	Largura (m)	Tipo	Plano (m)		
21,87	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
38,62	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
95,00	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
98,77	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
41,04	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
81,84	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
61,30	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
66,51	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
37,63	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
20,91	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
75,28	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
62,48	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
42,55	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
49,72	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
23,37	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
50,45	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
53,65	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
34,72	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
79,41	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
28,00	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
95,33	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
71,67	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
20,88	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
86,80	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
22,61	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não

82,49	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
99,56	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
92,41	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
52,29	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
29,54	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
21,24	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
21,87	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
34,68	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
28,23	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
31,16	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
31,81	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
26,33	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
21,59	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
22,62	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
24,20	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
50,13	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
71,79	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
34,49	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
26,25	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
34,96	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
32,98	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
53,35	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
37,45	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
38,62	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
36,08	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
35,63	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
48,08	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
52,71	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
80,73	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
37,04	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
73,97	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não

47,26	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
37,57	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
55,81	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
41,87	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
30,50	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
21,99	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
57,44	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
52,49	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
66,34	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
29,32	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
22,30	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
36,61	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
84,68	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
57,27	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
56,74	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
38,18	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
97,97	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
81,32	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
80,73	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
37,04	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
73,97	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
47,26	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
37,57	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
55,81	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
41,87	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
30,50	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
21,99	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
57,44	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
52,49	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
66,34	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
29,32	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não

22,30	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
36,61	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
84,68	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
57,27	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
56,74	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
38,18	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
97,97	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
81,32	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
21,87	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
34,68	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
28,23	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
31,16	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
31,81	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
26,33	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
21,59	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
22,62	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
24,20	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
50,13	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
71,79	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
34,49	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
26,25	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
34,96	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
32,98	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
53,35	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
37,45	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
38,62	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
36,08	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não
35,63	6.684	3,60	3,00	Turf	Plano	Não	Não

QUADRO DE SEGMENTOS DO TIPO TANGENTE

OBJECTID_1	ID	BR	UF	CODIGO	KM_INICIAL	KM_FINAL	SUPERFICIE	FEDERAL_CO	SHAPE LENG
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	4001,51
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	5100,00
3	5272	232	PE	232BPE0290	324,400000000000	333,500000000000	PAV	TANGENTE	5200,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	4100,58
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	3800,28
6	6177	232	PE	232BPE0300	333,500000000000	356,300000000000	PAV	TANGENTE	2000,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	8400,00
8	2499	232	PE	232BPE0170	148,100000000000	163,300000000000	PAV	TANGENTE	12200,00
8	2499	232	PE	232BPE0170	148,100000000000	163,300000000000	PAV	TANGENTE	300,00
8	2499	232	PE	232BPE0170	148,100000000000	163,300000000000	PAV	TANGENTE	200,00
8	2499	232	PE	232BPE0170	148,100000000000	163,300000000000	PAV	TANGENTE	600,00
8	2499	232	PE	232BPE0170	148,100000000000	163,300000000000	PAV	TANGENTE	300,00
8	2499	232	PE	232BPE0170	148,100000000000	163,300000000000	PAV	TANGENTE	400,00
8	2499	232	PE	232BPE0170	148,100000000000	163,300000000000	PAV	TANGENTE	700,00
8	2499	232	PE	232BPE0170	148,100000000000	163,300000000000	PAV	TANGENTE	300,00
8	2499	232	PE	232BPE0170	148,100000000000	163,300000000000	PAV	TANGENTE	299,70
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	200,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	4100,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	200,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	200,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	900,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	1700,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	800,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	300,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	300,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	300,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	2600,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	1300,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	300,00

4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	600,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	400,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	500,00
4	5981	232	PE	232BPE0190	163,300000000000	181,600000000000	PAV	TANGENTE	1300,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	100,78
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	8299,22
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	300,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	200,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	1800,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	300,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	1400,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	200,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	233,84
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	5466,16
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	100,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	1600,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	100,00
7	2472	232	PE	232BPE0210	181,600000000000	212,500000000000	PAV	TANGENTE	2600,22
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	200,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	200,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	1800,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	2300,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	300,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	4700,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	300,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	3800,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	300,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	400,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	200,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	3100,00
1	1634	232	PE	232BPE0230	212,500000000000	251,300000000000	PAV	TANGENTE	300,00

[illegible]

2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	300,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	5100,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	500,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	800,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	200,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	200,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	1200,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	1700,00
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	399,66
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	200,44
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	11100,14
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	300,74
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	1800,00
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	199,73
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	5399,88
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	299,66
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	7200,04
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	300,96
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	4200,20
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	248,04
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	1850,93
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	298,88
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	1400,00
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	100,00
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	4400,24
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	200,37
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	3301,18
3	5272	232	PE	232BPE0290	324,400000000000	333,500000000000	PAV	TANGENTE	394,69
3	5272	232	PE	232BPE0290	324,400000000000	333,500000000000	PAV	TANGENTE	400,00
3	5272	232	PE	232BPE0290	324,400000000000	333,500000000000	PAV	TANGENTE	200,00
3	5272	232	PE	232BPE0290	324,400000000000	333,500000000000	PAV	TANGENTE	309,20

2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	500,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	800,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	200,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	200,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	1200,00
2	3969	232	PE	232BPE0260	252,000000000000	277,800000000000	PAV	TANGENTE	1700,00
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	399,66
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	200,44
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	11100,14
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	300,74
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	1800,00
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	199,73
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	5399,88
5	1376	232	PE	232BPE0270	277,800000000000	324,400000000000	PAV	TANGENTE	299,66

**ANEXO B - COMPILAÇÃO DOS FATORES CONTRIBUINTE PARA ACIDENTES DE TRÂNSITO BASEADO NO
TRABALHO DE CHAGAS (2011)**

Fator contribuinte viário-ambiental para os acidentes de trânsito

Fator contribuinte viário-ambiental	Opções de resposta
Circunstâncias contribuintes do ambiente	Animal ou objeto na via; Obstrução da visão; Controlador de tráfego oculto (por vegetação, outro motivo); Reflexo; Obstrução física.
Condições climáticas	Céu claro; Nublado; Neblina, fumaça e nevoeiro, fumaça; Chuva; Granizo, granizo com neve; Neve; Neve com vento; Ventos fortes; Vento com areia, poeira, detritos.
Condições de iluminação	Luz do dia; Amanhecer; Anoitecer, lusco-fusco; Escuro iluminado; Escuro não iluminado; Escuro - luz desconhecida.
Circunstâncias contribuintes da via (Condições da via)	Desgaste (superfície da via polida, lisa, escorregadia); Obras (na via ou fora da via, construção, manutenção, encanamento de gás, água, telefonia eletricidade); Desvio temporário; Obstrução na via; Semáforo ou sinalização (não operando, faltando); Marcação na via inadequada ou apagada.
Condições de superfície da via; (influencia climática ou outra)	Seco; Molhado; Neve; Neve derretida, lama; Gelo, congelado; Alagado (parado ou corrente); Areia; Barro, sujeira, cascalho; Óleo.
Fatores contribuintes da via	Traçado da via; Redutor de velocidade; Acostamento (sem, degrau, macio, alto).

Fator contribuinte veicular para os acidentes de trânsito

Fator contribuinte veicular	Opções de resposta
Desgaste, defeito, quebra	Pneu; Roda; Freio; Direção; Suspensão; Transmissão; Motor; Exaustão; Portas/capô; Carroceria; Luzes (farol, sinalização, sinaleira traseira, luz de freio); Janelas/pára-brisa (vidro e limpador); Espelhos; Engate; Carga.

Fator contribuinte humano para os acidentes de trânsito

Fator contribuinte humano	Opções de resposta
Ação ou circunstâncias do condutor Imprudência	Exceder o limite de velocidade estabelecido; Andar muito rápido para as condições; Exceder velocidade segura razoável; Muito veloz para a curva; Seguindo muito próximo (para as condições climáticas ou de trânsito); Velocidade insegura (habilidade, para a via, condições climáticas, veículo, por obstrução da visão, tráfego).
Ação ou circunstâncias do condutor Erro de decisão	Falhou ao dar preferência; Curva imprópria (troca de faixa, trajetória, retorno, a frente do tráfego); Falha ao parar (semáforo, pedestre, PARE, ônibus escolar, calçada, preferencial); Recuar (andar de marcha ré) de forma imprópria.
Ação ou circunstâncias do condutor Falha na condução do veículo	Falha ao sinalizar; Sobre a linha central; Violação com luz: sem faróis ou falhou em baixar farol alto; Desconsiderou sinal de aviso; Uso impróprio da via; Uso impróprio do freio.
Ação ou circunstâncias do condutor Infração	Desobedecer ao semáforo; Desobedecer a sinalização (preferencial, sinal de PARE ou marcações); Desobedecer faixa dupla central;

	Desrespeitar faixa de pedestres; Retorno ilegal ou na contra-mão; Manobra ilegal; Não concedeu direito de passagem a outro veículo; Ultrapassagem imprópria; Parar em local impróprio.
Ação ou circunstâncias do condutor Erro de desempenho ou reação	Falhar ao sinalizar ou sinalizar incorretamente; Falhar ao olhar corretamente; Falhar ao julgar o caminho, velocidade ou espaço de outro; Curva ou manobra ruim; Frear bruscamente; Desviar bruscamente (vento ou derrapar) de um objeto ou veículo; Perder o controle do veículo; Correção ou movimento excessivo na direção; Controle de direção insuficiente; Sair da via; Passar muito próximo de ciclista, cavalo ou pedestre; Falha ao manter o veículo na própria faixa; Curva inapropriada; Erro de identificação; Erro de decisão.
Ação ou circunstâncias do condutor Debilidade ou distração	Desatenção (atenção inadequada); Aparentemente cansado/exausto/dormindo; Aparentemente doente (incapacidade ou debilidade física ou mental); Prejudicado pela ingestão de álcool; Prejudicado pelo uso de drogas (ilícitas ou medicamentos); Distração por equipamento de comunicação; Distração por equipamento eletrônico (navegação, som, etc.); Distração dentro do veículo; Distração fora do veículo.
Ação ou circunstâncias do condutor Comportamento ou inexperiência	Dirigir com agressividade; Descuidado, negligente ou com pressa; Emocional (nervoso, deprimido, bravo, perturbado, etc.); Dirigir muito devagar para as condições, ou veículo muito lento; Aprendendo ou

	inexperiente; Inexperiente com o veículo.
Ação ou circunstâncias do condutor Visão prejudicada	Objeto fixo ou veículo(s) estacionado(s); Vegetação; Traçado da via (inclinação, curva); Prédios, sinalização de trânsito ou mobiliário urbano; Ofuscado por faróis; Ofuscado pelo sol (reflexo); Chuva, granizo ou nevoeiro; Jato de água de outro veículo; Vidro ou pára-brisa sujo ou arranhado; Ponto cego do veículo; Visão prejudicada de dentro do veículo; Problemas de visão, não corrigidos (óculos ou lentes); Não usar faróis a noite ou em situações com pouca visibilidade.
Ação/circunstâncias do não-condutor	Movimento brusco, inesperado; Falhou ao respeitar direito de passagem; Falhou ao respeitar sinal de trânsito, sinalização ou agente; Impropriamente na via (parado, deitado, trabalhando, brincando); Relacionado a veículo estragado (trabalhando no veículo, empurrando, saindo ou entrando no veículo); Saindo/Entrando em veículo parado ou estacionado; Desatento (conversando, comendo, etc.); Não visível (roupas escuras, sem iluminação); Curva ou aproximação imprópria; Passagem imprópria; Sentido incorreto caminhando ou se locomovendo; Pedindo carona; Uso incorreto dos recursos de travessia para pedestres; Cruzar a via com a visibilidade prejudicada por objeto fixo ou veículos estacionados; Falhar ao olhar corretamente; Falhar ao julgar a velocidade ou caminho do veículo; Ação perigosa na via (exemplo: brincar); Prejudicado pelo

	consumo de álcool; Prejudicado pelo consumo de drogas (ilícitas e medicamentos); Descuidado, negligente ou com pressa ; Doença ou incapacidade, física ou mental.
Casos especiais	Veículo roubado; Veículo usado para cometer crime; Veículo de emergência atendendo a um chamado.

TABELAS DE DADOS (BD)

Tabela dos dados alfanuméricos dos acidentes de trânsito

Nome do campo	Descrição	Tipo de Variável
Dia	Dia de ocorrência do acidente	Informativa
Mês	Mês de ocorrência do acidente	Categórica: Jan/mar(1), abr/jun(2), jul/set(3) e out/dez(4)
Ano	Ano de ocorrência do acidente	Numérica
Hora	Hora de ocorrência do acidente	Informativa
Dia_Semana	Dia da semana de ocorrência do acidente	Categórica: seg/quin(1), sex/sab/dom (2)

UF	Unidade de Federação da Rodovia onde ocorreu o acidente	Informativa
BR	Rodovia onde ocorreu o acidente	Informativa
KM	Quilômetro de referenciamento onde ocorreu o acidente	Numérica
Município	Município onde ocorreu o acidente	Informativa
Tipo_de_Acidente	Descrição do tipo de acidente ocorrido: Atropelamento de pedestre ou de animal, colisão traseira, colisão frontal, colisão lateral, colisão transversal, saída de pista, engavetamento, choque, capotamento, tombamento, queda, outros.	Informativa
Fator_Contribuente	Defeito mecânico no veículo, falta de atenção, desobediência a sinalização, animais na pista, não	Informativa

	guardar distância de segurança, velocidade incompatível, dormir na pista, ultrapassagem indevida, ingestão de álcool, entre outros	
Gravidade_do_Acidente	Quantidade de mortos, feridos leves, feridos graves e ilesos no acidente	Numérica
Classificação_Acidente	Classificação do acidente, com vítimas, danos materiais e com mortos	Categórica: mortos(1), feridos(2), danos materiais(3)
Idade_Condutor	Idade do condutor	Categórica: 18-30(1), 30-50(2) e mais de 50(3)
Sexo	Sexo do condutor	Categórica: Masculino(1), Feminino(2) e Não Informado(3)
Via_com_pista	Classificação da via em pista simples ou duplicada onde ocorreu o	Categórica: Simples(1) e

	acidente	Duplicada(2)
Sentido_Via	Sentido de tráfego da via em que ocorreu o acidente, crescente ou decrescente	Categórica: Crescente(1) e Decrescente(2)
Traçado_Pista	Traçado da pista em que ocorreu o acidente, reta ou curva	Categórica: Reta(1) e Curva(2)
Cond_Pista_Rolamento	Condição da via em que ocorreu o acidente, bom, ruim ou péssimo	Categórica: Bom(1), Ruim(2) e Péssimo(3)
Condição_Tempo	Condições climáticas em que ocorreu o acidente, sol, chuva, nublado, outros	Categórica: Sol(1), Chuva(2) e Outros(3)
Fase_Dia	Fase do dia de ocorrência do acidente, manhã, tarde, noite, amanhecer, entardecer	Categórica: Manhã(1), Tarde(2), Noite(3), Entardecer(4) e Amanhecer(5)
Tipo de veículo	Quantidade de bicicletas,	Informativa

	motoneta e/ou ciclomotor, motocicleta, triciclo e/ou quadriciclo, automóveis, caminhonete e/ou camioneta, microônibus, ônibus, caminhões, caminhão trator, reboque e/ou semireboque, tração animal, máquinas agrícolas e outros tipos de veículos envolvidos no acidente	
Total_Feridos	Quantidade total de pessoas feridas no acidente	Numérica

Tabela dos dados das curvas

Nome do campo	Descrição
KM	Quilômetro de referenciamento onde ocorreu o acidente
E_PC	Estaca de referência do ponto de início da curva
E_PI	Estaca de referência do ponto de intersecção das tangentes
E_PT	Estaca de referência do ponto final da curva
E_Lc1	Estaca de referência do início do primeiro ramo de transição

E_Lc2	Estaca de referência do início do segundo ramo de transição
C_PC	Cota do ponto de início da curva
C_PI	Cota do ponto de intersecção das tangentes
C_PT	Cota do ponto final da curva
Raio	Raio da curva em metros
Lc	Comprimento do ramo de transição
Greide	Valor do greide
Inclinacao_Greide	Saber se a estrada é plana, em um declive ou aclave
D_Curva	Valor do desenvolvimento da curva
Super_Medida	Valor da superlevação medida
Super_Recomendada	Valor da superelevação recomendada

Tabela dos dados da rodovia

Nome do campo	Descrição	Tipo de variável
Id	Número sequencial do segmento gerado	Numérica
Rodovia	Sigla da Rodovia em estudo	Informativa
Km_Trecho_I	Quilômetro do trecho	Numérica

	inicial do PNV em que o segmento está inserido	
Km_Trecho_F	Quilômetro do trecho final do PNV em que o segmento está inserido	Numérica
Km_I	Quilômetro inicial do segmento	Numérica
Km_I	Quilômetro final do segmento	Numérica
Extensão	Extensão do segmento	Numérica
Uso_Solo	Localização do segmento em meio rural ou urbano	Categórica: Urbano (1) e Rural (2)
Cond_da_Via	Situação do segmento, pavimentado ou não pavimentado	Categórica: Pavimentada (1) e NãoPavimentada(2)
VDMA	Volume Médio Diário Anual do segmento	Numérica
N_Acidentes	Número total de acidentes ocorridos no segmento	Numérica
N_Mortos	Número total de acidentes com mortes ocorridos no	Numérica

	segmento	
N_Feridos	Número total de acidentes com feridos ocorridos no segmento	Numérica
N_Danos	Número total de acidentes com danos materiais ocorridos no segmento	Numérica
IS	Índice de severidade dos acidentes	Numérica
F_EPDO	Frequência dos acidentes no segmento - EPDO	Numérica
Fr_Kernel	Frequência dos acidentes no segmento - Kernel	Numérica
UF	Unidade de Federação da Rodovia onde ocorreu o acidente	Informativa
BR	Rodovia onde ocorreu o acidente	Informativa
Via_com_pista	Classificação da via em pista simples ou duplicada onde ocorreu o acidente	Categórica: Simples (1) e Duplicada (2)
Sentido_Via	Sentido de tráfego da via,	Categórica:

	crescente ou decrescente	Crescente (1) e Decrescente (2)
Traçado_Pista	Traçado da pista, reta ou curva	Categórica: Curva (1) e Reta (2)
Cond_Pista_Rolamento	Condição da via, bom, ruim ou péssimo	Categórica: Bom (1), Ruim (2) e Péssimo (3)