

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**PROPOSTA DE SEGMENTAÇÃO HOMOGÊNEA
EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES PARA
ESTUDOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES**

Rogério Faria D'Avila

Belo Horizonte

2015

Rogério Faria D'Avila

**PROPOSTA DE SEGMENTAÇÃO HOMOGÊNEA
EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES PARA
ESTUDOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Planejamento e Operação do Sistema de Transportes, Segurança Viária

Orientadora: Profa. Heloisa Maria Barbosa

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2015

D259p

D'Avila, Rogério Faria.

Proposta de segmentação homogênea em rodovias de pista simples para estudos de previsão de acidentes [manuscrito] / Rogério Faria D'Avila. - 2015.

xi, 157 f., enc.: il.

Orientadora: Heloisa Maria Barbosa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f.138-157.

Bibliografia: f. 126-137.

1. Transportes - Teses. 2. Acidentes de trânsito - Previsão - Teses. 3. Rodovias - Teses. 4. Segurança de trânsito - Teses. 5. Modelagem de dados - Teses. I. Barbosa, Heloisa Maria. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 656(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

UFMG

FOLHA DE APROVAÇÃO

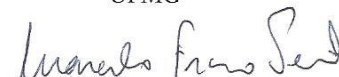
PROPOSTA DE SEGMENTAÇÃO HOMOGÊNEA EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES PARA ESTUDOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES


ROGÉRIO FARIA D'AVILA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES.

Aprovada em 26 de novembro de 2015, pela banca constituída pelos membros:


Profa. Heloisa Maria Barbosa - Orientador
UFMG


Prof. Marcelo Franco Porto
UFMG


Prof. Ronaldo Guimarães Gouvêa
UFMG

Belo Horizonte, 26 de novembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da minha vida, por sempre estar comigo e nunca me desamparar mesmo nos momentos de tribulação. À Ti, toda honra e toda glória.

Aos meus pais (Paulo e Tânia) e minha querida irmã (Ana Carolina) pelo amor incondicional, pela luta vivida em todos esses anos com o objetivo de me tornar uma pessoa melhor. Sou eternamente grato por todo este esforço e por tudo o que sempre fizeram por mim. Amo vocês.

À minha esposa, Danielle, por todos esses anos de dedicação ao meu lado, ouvindo meus lamentos, alegrias e preocupações. Essa vitória é nossa meu amor.

Àqueles que mudaram minha vida por completo, àqueles que são o sentido de minha vida, àqueles que são a minhas melhores composições, Yasmin e Lucas, papai ama vocês demais!

Não podia deixar de mencionar uma pessoa de extrema importância em minha vida, àquele que sempre me incentivou nos estudos. Essa vitória é para você também Tio Milton. Muito obrigado por seu carinho enquanto estive conosco. Essa vitória é também sua!

Ao Dr. Frederico Rodrigues, que foi um dos grandes incentivadores para eu começar o mestrado. Obrigado por todo o aprendizado no período em que trabalhamos juntos. Eterna gratidão!

À LID Consultoria na pessoa do Luiz Carlos por acreditar em mim e dar a oportunidade de desenvolver meu trabalho com tamanha alegria.

Ao professor Ronaldo Gouvêa, pelos inúmeros conselhos acadêmicos e profissionais. Obrigado por tudo!

À professora Leise Kelli de Oliveira (UFMG) por todo apoio e amizade durante esse período de mestrado. Muito obrigado mesmo!

Claro, àquela que me aguentou durante todo o processo, à minha orientadora e amiga Profa. Heloisa Maria Barbosa, pela grande ajuda mesmo quando não podia. Só nós sabemos a batalha que foi para chegarmos até aqui. Foi um período de grande aprendizado pessoal e profissional. Serei eternamente grato por tudo!

À Nascentes das Gerais (ABCconcessões) e SETOP pela disponibilidade dos dados para a elaboração dessa dissertação.

“O Homem é mortal por seus temores e imortal por seus desejos”

Pitágoras

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia para definir os segmentos homogêneos de uma rodovia e calibrar um modelo de previsão de acidentes, que obtenha estimativas próximas do real e cujos resultados possam ser utilizados no processo de planejamento de rodovias. Para tanto, foi realizado um estudo de caso para um trecho da rodovia MG-050, que compõe o Corredor de Integração Sudoeste Mineiro/São Paulo, tendo como base o ano de 2010. O processo de identificação de segmentação homogênea foi feito em passos sequenciais, partindo-se da divisão inicial em comprimentos de rodovia de 500m. em função do cadastro planialtimétrico do traçado da rodovia. Os critérios de agrupamento das seções longitudinais, segundo as variáveis determinantes basearam-se em agrupamento em função do tipo de pista (Simples, Dupla ou 3ª faixa), pela existência de perímetro urbano, conforme levantamento cadastral e das seções com a mesma classificação de tipo de terreno (plano, ondulado ou montanhoso). No que diz respeito à previsão de acidentes, este trabalho propõe um modelo matemático desenvolvido para rodovias de pista simples. A contribuição deste modelo é proporcionar ao órgão gestor da rodovia uma ferramenta para aprimorar o planejamento de intervenções para redução de acidentes. A partir da revisão bibliográfica acerca dos estudos realizados sobre a caracterização de segmentos homogêneos, associada à análise das características da área de estudo, foram selecionadas 13 variáveis, que compuseram o banco de dados desta pesquisa, e foram objeto de investigação nos processos de segmentação e de modelagem da previsão de acidentes. O modelo de previsão de acidentes (MPA) foi construído com as seguintes variáveis: Extensão, Tipo de Terreno, Raio de Curva, Perímetro Urbano, Interseção, Sinalização, Largura de Faixa, Volume e Greide. O coeficiente de correlação é de 68,4%, indicando um bom poder de explicação do modelo de previsão de acidentes. O MPA desenvolvido conforme a divisão em segmentos homogêneos foi comparado com o modelo base do Manual de Segurança Rodoviária (HSM) e com os valores observados. Tanto a calibração do modelo quanto a sua validação apontam que a metodologia de divisão de segmentos homogêneos proposta neste trabalho mostrou-se eficaz e pode tornar-se uma ferramenta significativamente útil no processo de calibração de um modelo de previsão de acidentes para o caso de rodovias de pista simples

Palavras-chave: Segurança Viária, Previsão de Acidentes, Segmento Homogêneo, Rodovia, Modelagem Matemática.

ABSTRACT

This study aims to propose a methodology to define homogeneous segments of highway accidents and calibrate a forecast model, that it gets estimates close to real ones, where the results can be used in highway planning process. Therefore, it was conducted a case study for a stretch of MG-050 highway, which makes up the “Highway of Integration Southwest Mineiro/São Paulo”, based on the year 2010. The homogeneous segmentation identification process was done in sequential steps, starting from the initial division of highway into lengths of 500 meters due to the planialtimetric registration of the highway route. The grouping criteria of the longitudinal sections, according to the determinant variables were based on grouping, depending on the type of track (Single, Double or 3rd range), the existence of the urban area according the cadastral survey and sections with the same type of terrain classification (flat, corrugated or hilly). Concerning to the prediction of accidents, this study proposes a mathematical model developed for two-lane rural highways. The contribution of this model is to provide the highway managing agency a tool to improve the planning of interventions to accident reduction. Based on the bibliographic review regarding the studies on the characterization of homogeneous segments, associated to the analysis of the study area characteristics, were selected 13 variables that composed the database of this research, and were the object of investigation in targeting processes and accident prediction modeling. The accident prediction model (MPA) was constructed with the following variables: Extension, Land Type, Curve Radius, Urban Perimeter, Intersection, Sign, Bandwidth, Volume and Greide. The correlation coefficient is 68.4%, indicating a good explanatory power of accident prediction model. The MAP developed according to the division into homogeneous segments was compared with the base model Highway Safety Manual (HSM) and the observed values. Both the calibration of the model and its validation indicate that the methodology of segments homogeneous division proposed in this study proved to be effective and can become a significantly useful tool in the calibration process of an accident prediction model for the case of two-lane rural highways.

Key words: Safety Road, Safety Predictions, Homogeneous Segments, Highway, Mathematical Modeling.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	XI
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	4
1.3 CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO.....	4
2 REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1 TEORIAS SOBRE ACIDENTES	6
2.2 SEGMENTOS HOMOGÊNEOS	11
2.3 ESTUDOS ENVOLVENDO SEGMENTOS HOMOGÊNEOS.....	17
2.4 MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES (MPA).....	28
2.4.1 <i>Modelo Linear Generalizado (MLG)</i>	29
2.4.2 <i>Equação de Estimação Generalizada (GEE)</i>	31
3 METODOLOGIA DE TRABALHO.....	34
3.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
3.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DO BANCO DE DADOS DE ACIDENTES.....	35
3.3 OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES CADASTRAIS E DADOS DE TRÁFEGO DA RODOVIA.....	35
3.4 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DETERMINANTES DO SEGMENTO HOMOGÊNEO.....	36
3.4.1 <i>Tipo de Pista</i>	37
3.4.2 <i>Perímetro Urbano</i>	37
3.4.3 <i>Tipo de Terreno</i>	38
3.4.4 <i>Greide</i>	38
3.4.5 <i>Raio de Curva</i>	39
3.4.6 <i>Volume Médio Diário Anual</i>	39
3.4.7 <i>Existência de Interseção</i>	39
3.4.8 <i>Quantidade de Acessos</i>	40
3.4.9 <i>Velocidade Operacional</i>	40
3.4.10 <i>Sinalização Vertical</i>	40
3.4.11 <i>Sinalização Horizontal</i>	41
3.4.12 <i>Largura de Faixa</i>	41
3.4.13 <i>Largura de Acostamento</i>	41
3.4.14 <i>Acidentes</i>	41
3.5 PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO DE SEGMENTOS HOMOGÊNEOS.....	42
3.5.1 <i>Critérios do método</i>	42
3.5.2 <i>Aplicação do método para divisão em segmentos homogêneos</i>	43
3.6 GERAÇÃO DO MPA PARA ESTIMATIVA DE ACIDENTES	43
3.7 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS OBSERVADOS E ESTIMADOS.....	44
3.8 VALIDAÇÃO DO MODELO	44
4 ESTUDO DE CASO	45
4.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	45
4.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DO BANCO DE DADOS DE ACIDENTES.....	51
4.3 OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES CADASTRAIS E DADOS DE TRÁFEGO DA RODOVIA	57
4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO DE SEGMENTOS HOMOGÊNEOS.....	59
4.4.1 <i>Tipo de Pista</i>	60
4.4.2 <i>Perímetro Urbano</i>	61
4.4.3 <i>Tipo de Terreno</i>	62
4.4.4 <i>Greide</i>	63
4.4.5 <i>Raio de Curva</i>	65
4.4.6 <i>Volume Médio Diário Anual (VMDA)</i>	66
4.4.7 <i>Interseção</i>	68
4.4.8 <i>Acessos</i>	69

4.4.9	<i>Velocidade Operacional</i>	70
4.4.10	<i>Sinalização Vertical e Horizontal</i>	72
4.4.11	<i>Largura de Faixa de Rolamento e de Acostamento</i>	72
4.4.12	<i>Acidentes</i>	73
4.5	SEGMENTOS HOMOGÊNEOS IDENTIFICADOS	75
4.6	GERAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES – MPA	79
4.6.1	<i>Modelagem dos Dados Qualitativos</i>	79
4.7	CODIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS DE ENTRADA	81
4.7.1	<i>Variável Dummy</i>	81
4.7.2	<i>Codificação Numérica</i>	82
4.8	DECODIFICAÇÃO DO BANCO DE DADOS	82
4.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	83
5	MODELAGEM	85
5.1	CONSTRUÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE ACIDENTES	85
5.2	AJUSTE DOS MODELOS	91
5.3	MODELO DE PREVISÃO DE ACIDENTES CONFORME HSM.....	103
5.4	COMPARAÇÃO MPA <i>VERSUS</i> HSM <i>VERSUS</i> VALORES OBSERVADOS	109
5.4.1	<i>Segmentação Atual x MPA x HSM</i>	109
5.4.2	<i>Segmentação Proposta x MPA x HSM</i>	110
5.4.3	<i>Considerações sobre as comparações dos modelos</i>	111
5.5	VALIDAÇÃO DO MPA	112
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	120
	REFERÊNCIAS	126
	APÊNDICE A – BANCO DE DADOS E AGRUPAMENTOS	138
	APÊNDICE B – ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELOS	153
	APÊNDICE C – ANÁLISE DE VALIDAÇÃO DE MODELO	156
	APÊNDICE D – ANÁLISE DE RESÍDUOS ACUMULADOS	157

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Influência dos Acidentes.....	10
Figura 2-2: Comprimento de Segmento em Rodovia	15
Figura 2-3: Delimitação dos Segmentos Homogêneos.....	20
Figura 2-4: Identificação de Deflexões utilizando abordagem bayesiana.....	22
Figura 3-1: Fluxograma das etapas da metodologia	34
Figura 3-2 : Variáveis utilizadas na divisão de segmentos homogêneos.....	36
Figura 4-1: Eixo de Concessão da MG-050.....	46
Figura 4-2: Municípios no eixo de concessão – MG050	47
Figura 4-3: Detalhamento do trecho em estudo (Segmento 10).....	51
Figura 4-4: Série histórica de acidentes por trechos.....	54
Figura 4-5: Série Histórica de Índice Crítico.....	57
Figura 4-6 : Planta da rodovia MG-050- estacas 215 e 216.....	58
Figura 4-7 : Praças de Pedágio.....	59
Figura 4-8 : Localização dos Analisadores de Tráfego – AT.....	59
Figura 5-1 : Gráfico Cure Plot (Modelo 1).....	96
Figura 5-2 : Gráfico Cure Plot (Modelo 2).....	97
Figura 5-3 : Gráfico Cure Plot (Modelo 3).....	97
Figura 5-4 : Gráfico Cure Plot (Modelo 4).....	97
Figura 5-5 : Análise comparativa do número de acidentes observados com o previsto pelo MPA para o ano de 2010	100
Figura 5-6 : Análise comparativa do número de acidentes observados em 2011 com a previsão do MPA para 2011.....	101
Figura 5-7 : Análise comparativa do número de acidentes observados em 2012 com a previsão do MPA para 2012.....	102
Figura 5-8 : Análise comparativa do número de acidentes observados <i>versus</i> acidentes previstos pelo HSM (2010).....	106
Figura 5-9 : Análise comparativa do número de acidentes observados <i>versus</i> acidentes previstos pelo HSM (2011).....	107
Figura 5-10 : Análise comparativa do número de acidentes observados <i>versus</i> acidentes previstos pelo HSM (2012).....	108
Figura 5-11 : Validação do MPA 2010 - análise dos resíduos acumulados - <i>Cure Plot</i>	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Classes homogêneas de segmentos de rodovias.....	14
Tabela 2-2: Resumo das recomendações para comprimento de segmento	16
Tabela 2-3: Definição do Risco à margem da estrada RSH	24
Tabela 2-4: Resumo das variáveis consideradas nos referenciais teóricos	27
Tabela 4-1 : Extensão das rodovias por município.....	49
Tabela 4-2 : Segmentos da Rodovia pelo poder concedente.....	50
Tabela 4-3 : Tipo de pista do trecho em estudo.....	61
Tabela 4-4 : Agrupamento por Perímetro Urbano.....	62
Tabela 4-5 : Agrupamento por Tipo de Terreno.....	63
Tabela 4-6 : Cálculo de Greide Ponderado.....	64
Tabela 4-7 : Agrupamento por Greide.....	64
Tabela 4-8 : Raio mínimo de curva	65
Tabela 4-9 : Agrupamento por Raio de Curva	66
Tabela 4-10 : Tratamento por Volume de tráfego.....	67
Tabela 4-11 : Condição Atual.....	68
Tabela 4-12 : Condição Hipotética.....	68
Tabela 4-13 : Agrupamento por Existência de Interseção.....	69
Tabela 4-14 : Agrupamento por Acessos	70
Tabela 4-15 : Velocidade Operacional da Rodovia.....	71
Tabela 4-16 : Agrupamento por condições da Sinalização Horizontal e Vertical.....	72
Tabela 4-17 : Agrupamento por Largura de Faixa e de Acostamento.....	73
Tabela 4-18: Ocorrência de Acidentes no período de estudo.....	74
Tabela 4-19: Segregação em 500 metros do trecho avaliado	75
Tabela 4-20: Agrupamentos resultantes por tipo de terreno para o trecho em estudo	76
Tabela 4-21 : Tratamento do número de Acidentes em relação aos agrupamentos	76
Tabela 4-22 : Banco de Dados Final (Simplificado)	77
Tabela 4-23 : Banco de Dados Final (Cont.)	78
Tabela 4-24 : Variáveis consideradas e estatística básica	79
Tabela 4-25 : Codificação de Variáveis Qualitativas	83
Tabela 4-26 : Grupos de Variáveis	83
Tabela 5-1 : Estimativa de p-valor para o Modelo 1	87
Tabela 5-2 : Estimativa de p-valor para o Modelo 2	88
Tabela 5-3 : Estimativa de p-valor para o Modelo 3	89
Tabela 5-4 : Resultados do Modelo 4.....	90
Tabela 5-5 : Resultados dos Modelos desenvolvidos.....	91
Tabela 5-6 : Resultados dos indicadores dos MPAs	95
Tabela 5-7 : Acidentes observados e previstos pelo MPA e HSM – segmentação atual	110
Tabela 5-8 : Acidentes observados e previstos pelo MPA e HSM – segmentação proposta .	111
Tabela 5-9 : Cadastro do trecho de rodovia utilizado na validação do MPA (km 132 a 143)	113
Tabela 5-10 : Segmentação homogênea proposta para o trecho de validação	114
Tabela 5-11 : Previsão de Acidentes para o ano de 2010.....	115
Tabela 5-12 : Comparação número de acidentes observados x HSM (2010)	116
Tabela 5-13 : Comparação número de acidentes observados x MPA x HSM (2010).....	117
Tabela 5-14 : Comparação Observado x MPA x HSM (2011)	118
Tabela 5-15 : Comparação acidentes observados x MPA x HSM (2012).....	118

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- HCM – Highway Capacity Manual
- VMDA – Volume Médio Diário Anual
- GEE – Equações de Estimativas Generalizadas
- MPA ou SPF – Modelo de Previsão de Acidentes
- HSM – Highway Safety Manual
- PPP – Parceria Público Privada
- AIC – Estimativa de Akaike
- AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials
- SAS – Secretaria de Atenção à Saúde
- CNG – Concessionária Nascentes das Gerais
- DER-MG – Departamento de Estradas e Rodagem de Minas Gerais
- SETOP – Secretaria de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Relatório da Situação Mundial de Segurança Viária, realizado em 178 países pela Organização Mundial de Saúde, (OMS, 2009), a maioria dos países do mundo tem aprovado as recomendações das versões anteriores do relatório que orientam como os países podem programar uma abordagem compreensiva para melhorar a segurança viária (com melhorias na legislação, união entre setores que coletam dados de acidentes, dentre outros) e em como reduzir o número de mortos em acidentes rodoviários.

O Instituto Avante Brasil (2010) realizou um levantamento mundial sobre mortes no trânsito estruturando um *ranking* comparativo dos dez países mais violentos. O levantamento mostra que o número de mortes de 183 países. Em relação aos que não disponibilizaram dados recentes, o total de mortos foi estimado por meio de uma análise regressiva, o que viabilizou com confiança a comparação entre eles. Os resultados apontam que em 2010 foram registrados aproximadamente 42.844 acidentes com vítimas fatais colocando o Brasil como o 4º país com o maior número de mortes no trânsito perdendo apenas para China, Índia e Nigéria. DATASUS (2011) apresentou dados ainda piores, de acordo com o levantamento realizado pelo Ministério da Saúde, foram registrados 43.256 mortes no trânsito.

Em 2012, o Brasil teve mais que o dobro de mortes no trânsito que o país com o maior número de mortes na União Europeia. Esse resultado pode ser explicado, além diversos fatores, pelo aumento expressivo da frota. Segundo DENATRAN (2012), entre 2003 e 2012 a frota de veículos no Brasil cresceu aproximadamente 110% e o indicador mais significativo fica em relação às motocicletas cujo crescimento foi de aproximadamente 224%.

Silva (2011), menciona que os acidentes de trânsito provocam, no mundo, cerca de 1,3 milhão de mortes e pertos de 50 milhões por ano de feridos, com um custo para a sociedade de mais de U\$\$ 600 bilhões. Aproximadamente 80% dos óbitos ocorrem nos países não desenvolvidos. A previsão do número de mortes atingirá a cifra de 2 milhões, no ano de 2020, caso políticas adequadas não sejam colocadas em prática fazendo com que os acidentes envolvendo veículos de transporte terrestre ocupem a 6ª posição em causa de mortes, com 3,4% do total. Bastos (2011) menciona que a taxa de acidentes aumenta proporcionalmente ao crescimento do volume de veículos, atingindo um

máximo para vias com um volume de 8.000 a 9.000 veículos/dia (rodovias de pista simples). Entretanto, com um tráfego mais intenso tende a reduzir o índice de acidentes por conta das retenções causadas pelo congestionamento.

A minimização dos acidentes de trânsito, e suas consequências, nas rodovias, através da engenharia de tráfego, exige a elaboração de uma série de atividades que, em seu conjunto, podem ser denominadas gerenciamento da segurança viária (DNER, 1998). Nos últimos anos, os programas de gerenciamento da segurança têm atuado como agente de medidas preventivas e corretivas pelas concessionárias de rodovias, bem como os órgãos fiscalizadores das rodovias. Essas medidas tendem a cercar os elementos principais de acidentes que, segundo Nodari e Lindau (2004) existem três, a saber: (i) fatores humanos, (ii) viário e ambiental e (iii) veicular, que colaboram isoladamente ou relacionados entre si para a ocorrência de acidentes. Segundo Cardoso (2006), com relação à engenharia de tráfego, o problema da segurança viária deve ser enfrentado com medidas que atuem a diminuir os fatores estimulantes dos acidentes de trânsito.

Costa (2013) menciona que a previsão da ocorrência dos acidentes de trânsito é geralmente feita através de modelos matemáticos e estatísticos que determinam o valor esperado de uma taxa de acidentes (medida de exposição ao risco) baseado nas características viárias e ambientais da via. Esses modelos também são conhecidos como funções de desempenho de segurança viária – *Safety Performance Functions* (SPF), segundo o Manual de Segurança Viária, *Highway Safety Manual* – HSM (AASHTO, 2010).

Para o estudo de previsão de acidentes são consideradas técnicas estatísticas com base em frequência dos acidentes, volumes de tráfego e características físicas da estrutura viária em que está contida a extensão do segmento homogêneo, variável esta que será objeto do presente estudo.

A identificação de Segmentos Homogêneos é de grande importância no processo de previsão do número de acidentes para condições base em rodovias. Todavia, este processo de segmentação homogênea, muitas vezes, é pouco detalhado nos estudos acadêmicos.

Atualmente, a divisão de segmentos homogêneos nas rodovias é realizada, em quase sua totalidade, pelos órgãos estaduais e federais denominados Poder Concedente. Conforme DNIT (2006), essa divisão baseia-se em critérios básicos como tipo de pista, uso do solo lindeiro e perfil do terreno (plano, ondulado ou montanhoso). Contudo, é consenso no meio técnico, que o conceito de homogeneidade vai muito além dessas três variáveis. Além disso, o que se vê na realidade das rodovias brasileiras é que a divisão de segmentos é realizada de forma contraditória ao preconizado pelas normas.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia que possa definir os segmentos homogêneos de uma rodovia e calibrar um modelo de previsão de acidentes, que obtenha estimativas próximas do real e cujos resultados possam ser utilizados no processo de planejamento de rodovias. Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. Elaborar uma metodologia de definição de segmentos homogêneos para rodovias de pista simples;
2. Definir os segmentos homogêneos de um trecho de rodovia, fundamentado na metodologia proposta;
3. Desenvolver um modelo de previsão de acidentes (MPA) referente ao ano base para este trecho de rodovia, em função de suas características físicas e operacionais;
4. Estimar o número de acidentes para o trecho de rodovia, a partir do MPA desenvolvido;
5. Realizar a análise comparativa das estimativas de acidentes obtidas com o MPA em relação às estimativas do método do HSM – *Highway Safety Manual*.
6. Validar o MPA desenvolvido utilizando outro trecho de rodovia distinto daquele adotado no processo de calibração do modelo.

Para tanto, será realizado um estudo de caso para a rodovia MG-050, que compõe o Corredor de Integração Sudoeste Mineiro/São Paulo, tendo como base o ano de 2010

1.2 Estrutura da Dissertação

Além deste capítulo introdutório, outros cinco capítulos comporão este trabalho. No Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica pertinente ao estudo: os conceitos de acidentes, previsão de acidentes, definição de segmentos homogêneos e as referências que subsidiam o presente trabalho, bem como os elementos que definem um segmento homogêneo de uma rodovia e a definição de Modelo de Previsão de Acidentes (MPA).

No Capítulo 3 são detalhadas as premissas da metodologia para divisão de um trecho rodoviário em segmentos homogêneos, bem como os demais métodos adotados para a calibração e validação do MPA.

A rodovia de estudo, MG-050 é caracterizada no Capítulo 4, apresentando as informações necessárias como greide, número de faixas de rolamento, volume de tráfego, dentre outras informações, para aplicação da metodologia proposta de definição de segmentos homogêneos. É também apresentada a divisão da rodovia conforme o Poder Concedente (DER-MG) e definido o trecho da rodovia que será objeto de estudo deste trabalho.

A partir da nova definição de segmentos homogêneos obtida no capítulo anterior, no Capítulo 5 é proposto um modelo de previsão de acidentes. As estimativas do modelo calibrado com os dados do ano base (2010) são comparadas com os números de acidentes ocorridos, bem como, com as estimativas do modelo HSM – *Highway Safety Manual*. Ainda neste capítulo é realizada a validação do modelo em função de outro trecho da rodovia escolhido de forma aleatória.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões do trabalho referentes ao método de segmentação homogênea e à modelagem de previsão de acidentes. São feitas considerações acerca das características dos bancos de dados e recomendações para a continuidade e aprofundamento deste trabalho. Complementam esta dissertação, as Referências Bibliográficas e os Apêndices.

1.3 Contribuição do Estudo

O presente trabalho tem por objetivo proporcionar uma metodologia para divisão de uma rodovia em segmentos homogêneos, que de fato, contemple o conceito de homogeneidade. As características semelhantes dos trechos homogêneos permitem a confecção de projetos de sinalização e estudos de segurança viária, como identificação de

pontos críticos e previsão de acidentes, mais adequados e com maior confiabilidade, uma vez que podem ser identificadas as características mais propensas, ou mais vulneráveis, para esses projetos e estudos.

A proposta de sistematizar a definição de segmento homogêneo possibilita aos gestores da rodovia e poder concedente uma análise pontual em determinados assuntos da rodovia, por exemplo, a região exata onde estão os principais problemas relacionados a acidentes e também os pontos onde deve-se atuar de forma preventiva e até mesmo onde estão localizados os problemas de níveis de serviço. Considerar segmentos muito longos, como apresentados atualmente pela rodovia de estudo, podem proporcionar uma ideia equivocada das características de homogeneidade desta via, uma vez que, podem haver discrepâncias entre informações de um mesmo segmento em relação às características físicas e operacionais da rodovia.

No que diz respeito à análise de previsão de acidentes, este trabalho propõe um modelo matemático desenvolvido para rodovias de pista simples, como o caso específico da rodovia MG-050. A contribuição deste modelo é proporcionar ao órgão gestor da rodovia uma ferramenta para aprimorar o planejamento de intervenções para redução de acidentes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos aspectos pertinentes ao estudo, contemplando os conceitos de acidentes, previsão de acidentes, definição de segmentos homogêneos de rodovias e as referências que subsidiam o presente trabalho.

2.1 Teorias Sobre Acidentes

As tentativas de explicar os tipos de acidentes são tão antigas como o estudo científico realizado por Bortkiewicz (1898), cujo trabalho é muitas vezes considerado como o início da investigação de acidentes. Neste trabalho, concluiu que os acidentes ocorreram de forma aleatória. Contribuições posteriores atribuíram acidentes de propensão individual (Shaw e Sichel 1971), os erros humanos (Sabey e Staughton 1975, Treat *et al.* 1979), as falhas do sistema (Perrow, 1999).

Contudo, esta teoria foi questionada durante a segunda guerra mundial, quando um estudo detectou uma concentração anormal de acidentes em um pequeno grupo de operários de fábricas de munição. Estes operários se envolviam em mais acidentes do que a aleatoriedade poderia explicar. Este modelo baseou-se na proposição de que algumas pessoas eram mais propensas a se envolverem em acidentes do que outras. Entre 1920 e 1950, aproximadamente, este foi o ponto de vista predominante nas pesquisas de acidentes.

A Teoria da Causalidade, originada entre os anos 40 e 50 argumentava que a prevenção somente era possível se as reais causas dos acidentes fossem conhecidas. Os proponentes desta teoria consideraram o fato de que o número de acidentes continuava crescendo como evidência conclusiva de que as diretrizes estabelecidas para o estudo não tinham sido hábeis em encontrar as reais causas dos acidentes.

Shopf (2006), menciona em seu estudo que a teoria da causalidade acabou concluindo que os acidentes eram eventos tipicamente multicausais, sendo, quase sempre, impossível identificar uma das causas potencialmente contribuintes como sendo a mais decisiva na ocorrência dos acidentes. No entanto, muitos estudos atribuem os acidentes, predominantemente, a erros cometidos pelos usuários da via. O foco dado pela teoria da causalidade sobre erros humanos na década de 50 levou a uma ênfase equivocada em tentar modificar o comportamento humano como a principal medida preventiva de

acidentes. Logo se percebeu que estes esforços eram pouco eficientes e tornou-se necessário descobrir porque erros humanos eram cometidos. Isto levou a uma transição a um novo tipo de teoria.

Silva (2011) menciona que devido ao insucesso das teorias anteriores, surgiram especulações sobre a real gênese dos acidentes que têm, geralmente, mais de uma causa e raramente é possível identificar algumas delas como mais decisiva que as outras. Como resposta a esse questionamento, a teoria epidemiológica, popular entre os anos 60 e 70, tornou-se mais bem sucedida. Elvik (2005) 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. Em princípio, pode-se tentar "explicar" os acidentes rodoviários, listando esses fatores, talvez adicionando informações sobre a sua importância relativa.

Segundo Ferraz *et al.* (2012), o acidente de trânsito é um evento envolvendo um ou mais veículos, motorizados ou não, em movimento por uma via, que provoca ferimentos em pessoas e/ou danos em veículos e/ou em outros elementos. Os autores ainda mencionam 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 tocante 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 severas, 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.

Ferraz *et al.* (2012), menciona que o conceito de “causa de acidentes” foi substituído pelo de “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. Do ponto de vista acidentológico, 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 (CASTRILLÓN e CANDIA, 2003). 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 (AUSTROADS, 1994).

De forma geral, a segurança viária abrange o conjunto de condições e fatores interligados que propiciam a circulação e interação dos diferentes elementos do tráfego na via sob níveis aceitáveis de risco e de forma suficientemente segura. Neste contexto, Hughes *et al.* (2004) definem a segurança viária como um valor esperado, o qual não se pode confundir com a soma total dos acidentes de tráfego acontecidos. Ou seja, a segurança viária de uma rodovia se encontra em níveis aceitáveis quando o seu número de acidentes é inferior ou equivalente à probabilidade de ocorrência dos mesmos considerando suas características operacionais.

A preocupação com a segurança viária vai além do fator primordial, que são as vidas em risco. Isso é, outros fatores também são extremamente considerados. Por exemplo, os custos econômicos dos acidentes têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, visto que segundo cálculos da Organização Mundial da Saúde (OMS), para o ano 2015 o número de mortos devido a acidentes de transporte ultrapassará um milhão de pessoas. Isso leva a um cenário onde os custos econômicos associados aos acidentes de trânsito, previstos pela Comissão Europeia é de cerca de 2.5% do Produto Interno Bruto, o que explicita claramente a gravidade desta patologia e como a mesma deve ser fortemente tratada.

Em termos de vítimas fatais, as estatísticas registram 38.828 falecidos nos países da União Europeia (UE) no ano de 2002 e 42.643 mortos nos Estados Unidos (EUA, 2003) (Comissão Europeia, 2004 e NHTSA, 2005). Já em países latino-americanos, se registram 19.000 falecidos e especificamente no Brasil no ano de 2003 foram 4.650 vítimas fatais. Vale salientar ainda que estas estatísticas podem refletir um número menor do que o real, visto que em muitos casos, vítimas que não falecem no local do acidente não são contabilizadas como tal refletindo, em parte, deficiências no processo de registro de acidentes.

Um modelo clássico de definição do trânsito, baseado na interação entre os componentes desse sistema – o homem, ao veículo e a via, é apresentado por Miranda (1997), citando Petzhold (1985), que procurou estruturá-lo, dentro de uma visão sistêmica, em que estes

componentes estão relacionados entre si em um contexto denominado “condições ambientais”. Esta construção tem como base do sistema, além do veículo, a via e as condições ambientais, cujos estímulos são processados como informações para o motorista, que responde interagindo com o veículo. A via, com suas características físicas específicas, como o tipo de terreno ou pavimento, aclives e declives, retas e curvas, e, também, com as suas características de sinalização, seja gráfica, luminosa, horizontal, vertical ou de pórticos, atua como estímulo discriminativo para as ações do motorista sobre o veículo, enquanto as condições ambientais, como as condições de tempo, umidade do ar, ventos etc., também interferem no comportamento dos motoristas.

Pesquisas mostram que os acidentes ocorrem em consequência de pelo menos um fator pertencente a um dos três grupos de fatores contribuintes de acidentes de trânsito: fator humano, fator veicular e fator viário-ambiental. Assim, o investimento adequado em: (i) treinamento para os condutores e outros usuários da via, (ii) padrão de fabricação e manutenção de veículos, (iii) projetos e normas de manutenção das vias, pode prevenir acidentes viários. Além disso, os processos de gestão eficaz de segurança são um passo fundamental para resolver os problemas da segurança viária. Apenas com bons sistemas de gestão em vigor os responsáveis pela segurança viária serão capazes de competir com sucesso por recursos e tomar decisões com relação ao desenvolvimento e implantação de medidas eficazes (OECD, 2002).

Segundo Nodari e Lindau (2004) existem três elementos principais, a saber: (I) fatores humanos, (II) viário e ambiental e (III) veicular, que colaboram isoladamente ou relacionados entre si para a ocorrência de acidentes. A Figura 2-1 ilustra a influência de cada um dos fatores, assim como a combinação dos mesmos de forma geral.

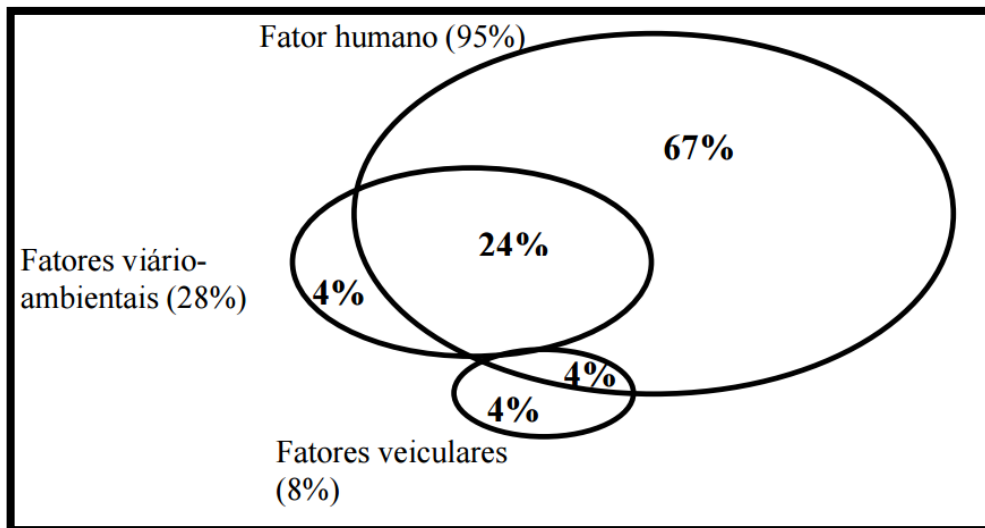


Figura 2-1: Influência dos Acidentes

Fonte: Organização Mundial da Saúde (OMS), 2005

Austroads (1994) indica o componente humano como responsável por 95% dos acidentes de trânsito, enquanto o componente viário-ambiental e o componente veicular aparecem como fator contribuinte, respectivamente, de 28% e 8% do total de acidentes. Esses percentuais levam em consideração a interação de fatores, onde 24% resultam da interação do componente humano com o viário-ambiental e 4% da interação do componente humano com o veicular. Os fatores viário-ambiental e veicular sozinhos são responsáveis por 4% da responsabilidade sobre a ocorrência de acidentes cada um e ao fator humano é atribuído, isoladamente, 67% das causas, conforme esquema apresentado na Figura anterior. De acordo com a figura, percebe-se que não ocorre a interceptação dos três fatores contribuintes do acidente, porém é sabido que é possível de ocorrer.

Conforme mencionado por Ferraz *et al.* (2012), para reduzir a ocorrência e a severidade dos acidentes, deve-se haver ações em seis áreas. No caso da engenharia, as principais ações estão voltadas para projetos de novas rodovias e vias expressas com ênfase em segurança, tratamento dos locais críticos, melhoria da manutenção das vias, melhoria da sinalização, dentre outros. No campo da educação são necessárias atividades de conscientização da população acerca da importância às leis de trânsito, quem sabe até mesmo a inclusão do tema no currículo das escolas. No contexto do esforço legal compreende a legislação, fiscalização, punição e registro dos acidentes, ou seja, o esforço legal tem por objetivo organizar o sistema de trânsito visando maior segurança, dentre outros fatores. A quarta ação refere-se ao engajamento que diz respeito à

atitude/comportamento das pessoas perante ao assunto de segurança viária. É preciso que haja conscientização das pessoas que os problemas relacionados a acidente no trânsito é grave e pode ser evitado com mudança no comportamento da população. A quinta ação está ligada ao ambiente viário e seu entorno, uma vez que estes exercem uma grande influência no comportamento dos condutores e pedestres no trânsito significando que aspectos como limite de velocidade e geometria devem estar de acordo com as características do ambiente ao redor, ou seja, o tráfego deve ser condicionado às características do local. Por fim, a sexta ação diz respeito à avaliação que nada mais é do que realizar o monitoramento da situação da segurança no trânsito.

2.2 Segmentos Homogêneos

A principal fonte no que diz respeito aos conceitos de engenharia de transporte é o *Highway Capacity Manual – HCM* que foi desenvolvida pela *Transportation Research Board – TRB*. O primeiro manual de capacidade de rodovias foi desenvolvido em 1950 que foi elaborado através de projetos de rodovia desenvolvidos em anos anteriores. Nesta edição do HCM não foi realizada qualquer observação acerca de segmentos homogêneos senão a informação de que a capacidade viária é analisada em um trecho contínuo pavimentado. Na segunda edição do HCM em 1965 foi definido o conceito de capacidade viária e qualidade do serviço da rodovia em *freeways*. Mais tarde, em 1985, o HCM introduziu o conceito de segmento homogêneo considerando, as curvas fluxo-velocidade. O método do manual para autoestradas e rodovias de pista dupla, eram diferenciadas segundo a velocidade de projeto da rodovia como um todo (Roess, 2011). Nesta edição do HCM (1985) foi definido o conceito de segmentos homogêneos como segmentos mais curtos (não especificando extensão) em que 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 segmentos homogêneos permite que parâmetros de tráfego coletados em um determinado ponto da rodovia sejam considerados válidos para toda a sua extensão, em função da uniformidade das suas características físicas e composição da corrente de tráfego.

A ideia de realizar um conceito de segmento homogêneo baseou-se na necessidade de variáveis para obter estimativas de nível de serviço. O nível de serviço para estudos de entrelaçamento necessita de três parâmetros, comprimento do segmento, número de faixas e configuração. Considerando os três tipos de seções de entrelaçamento, um deles é feito sem a necessidade de mudanças de faixa. Assim, para um determinado comprimento e largura da seção de entrelaçamento, existem três diferentes configurações que podem ser fornecidos, cada um produzindo marcadamente diferentes condições de funcionamento. Toda avaliação do HCM (1985) é estratificada com base no tipo de configuração (TRB, 1985).

Segundo TRB (1985), um segmento homogêneo pode ser descrito como um trecho que possui entre 800 metros e 1,6 quilômetros e possui até 3% de greide (inclinação), ou seja, definidos como segmentos nos quais as características físicas e de tráfego são uniformes.

Andrade (2011) menciona que os métodos apresentados pelo HCM para avaliação da capacidade e do nível de serviço em rodovias foram originalmente calibrados para segmentos com uma gama finita de configurações. Os métodos, como constantes no manual, não são aplicáveis sem modificações, por parte do analista, a locais com as seguintes características (TRB, 2010):

- Faixas especiais, reservadas a um tipo específico de veículo, como faixas de alta ocupação, faixas de ultrapassagem ou faixas de subida;
- Imposição de restrição às manobras de mudança de faixas;
- Segmentos extensos em ponte ou túnel;
- Praças de pedágio a jusante;
- Externalidades que alterem o comportamento do motorista no que diz respeito à escolha da velocidade praticada, tais como postos policiais ou dispositivos de fiscalização eletrônica;
- Uso de técnicas de controle de acessos (*ramp metering*) para aumento da capacidade;
- Bloqueios temporários causados por construções, acidentes ou travessia de ferrovias;
- Interferência causada por estacionamento nos acostamentos;
- Presença de pontos de ônibus de uso intensivo; ou

- Circulação significativa de pedestres.

Conforme 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 sua extensão, sejam providos com as mesmas características geométricas como sinuosidade horizontal, ou que estejam inseridos no mesmo tipo de uso do solo lindeiro.

DNIT (2010) menciona ainda que, sendo estipulados valores ou definidos níveis para as diversas características, estas podem gerar categorias de segmentos homogêneos. Por exemplo, o estabelecimento de valores limites para volumes de tráfego gera faixas de volume em que um determinado trecho de rodovia pode ser enquadrado.

Sendo assim, se estabelecido um conjunto de características e suas respectivas categorias, é possível criar classes de segmentos homogêneos. Esta desagregação ou divisão do sistema agrupará trechos de maneira que as deficiências da segurança viária que ocorrem dentro de um mesmo conjunto de características possam estar relacionadas, podendo-se supor que possuem causas em comum e estes trechos poderão, então, receber tratamento de forma padronizada.

A definição de classes para os segmentos homogêneos deve possibilitar a caracterização precisa de trechos e ao mesmo tempo dar praticidade à análise de segurança viária. A classificação adotada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) leva em consideração três especificações: tipo de pista (simples ou dupla), ocupação da região lindeira (urbana e rural) e curvatura vertical do segmento (plano, ondulado e montanhoso). Suas combinações resultam em doze classes apresentadas na Tabela 2-1 a seguir.

Tabela 2-1: Classes homogêneas de segmentos de rodovias

Classe	Código	Tipo de Pista	Uso do Solo	Perfil do Segmento
1	SRP	Simples	Rural	Plano
2	SRO	Simples	Rural	Ondulado
3	S.R.M	Simples	Rural	Montanhoso
4	SUP	Simples	Urbano	Plano
5	SUO	Simples	Urbano	Ondulado
6	SUM	Simples	Urbano	Montanhoso
7	DRP	Dupla	Rural	Plano
8	DRO	Dupla	Rural	Ondulado
9	DRM	Dupla	Rural	Montanhoso
10	DUP	Dupla	Urbano	Plano
11	DUO	Dupla	Urbano	Ondulado
12	DUM	Dupla	Urbano	Montanhoso

A classificação feita em segmentos é utilizada, via de regra, com o objetivo de estender resultados de análises feitas em um trecho representativo para todos os outros que estão dentro da mesma classe. Neste caso específico ela será utilizada para organizar procedimentos que visem uma adequação da segurança viária do local, determinados a partir de características do segmento analisado.

A divisão de segmentos de rodovias em classes homogêneas deve guiar a confecção dos projetos de sinalização, sendo que as três características das rodovias anteriormente citadas devem ser consideradas. É esperado com esta estratificação que as características básicas dos projetos de sinalização guiados pelos procedimentos que serão explanados em itens posteriores, sejam qualitativamente e/ou quantitativamente também homogeneizadas.

Conforme definido pelo HSM (AASHTO, 2010), 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 determinada intersecção e termina no centro da próxima intersecção, ou onde existe uma mudança a partir de um segmento homogêneo para outro segmento homogêneo. Quando um segmento de pista inicia ou termina num cruzamento, o comprimento do segmento de pista é medido a partir do

centro da intersecção. A Figura 2-2 ilustra o comprimento de segmento em rodovia conforme AASHTO (2010).

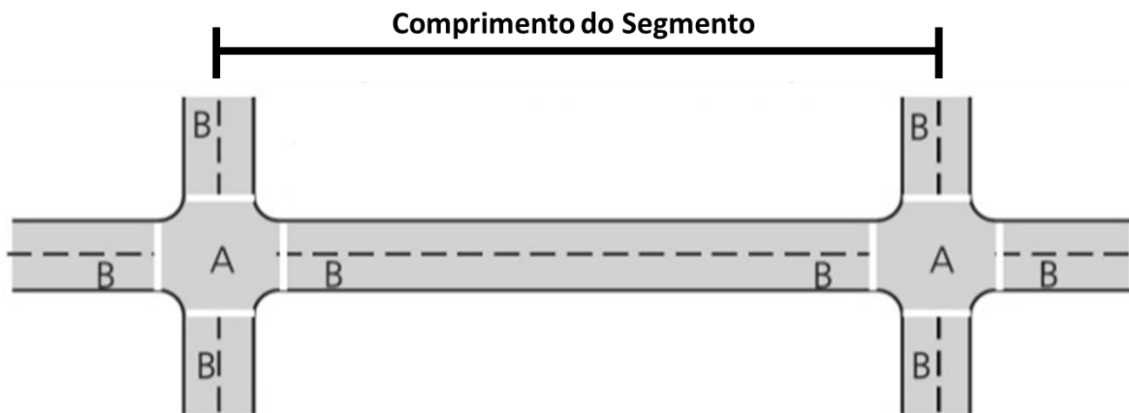


Figura 2-2: Comprimento de Segmento em Rodovia
Fonte: (AASHTO, 2010)

AASHTO (2010) menciona que em um processo de segmentação de rodovias com comprimento variável, cada segmento apresentará homogeneidade em relação às características tais como os volumes 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:

- Início ou no final de uma curva horizontal (transições espirais são consideradas parte da curva);
- Ponto de Interseção Vertical (PIV) para uma curva de crista vertical, saída de uma curva vertical ou um ângulo de inclinação em que duas classes diferentes de estrada se encontram;
- Início ou fim da pista de ultrapassagem ou seção com maiores possibilidades de ultrapassagens;
- Volume Médio Diário Anual de Tráfego - VMDA;
- Largura da faixa;
- Largura do acostamento;
- Tipo de acostamento;
- Avaliação de risco à margem da estrada;

- Presença de iluminação;
- Presença de controle de velocidade.

O HSM (AASHTO, 2010) recomenda o uso de segmentos homogêneos relacionados com volume, número de faixas, raio de curva, presença de rampa, largura da via, larguras de acostamento, dentre outros. Salienta-se que não há uma definição clara do comprimento mínimo do segmento para aplicação dos modelos de previsão de acidentes, mas há uma sugestão de um segmento não ter comprimento inferior a 500 metros. DNER (1994) menciona que a extensão máxima admitida para um segmento homogêneo é de 7000 metros e, por razões de cunho construtivo, devem ter uma extensão mínima de 200 metros. A Tabela 2-2 apresenta as informações consolidadas.

Tabela 2-2: Resumo das recomendações para comprimento de segmento

HSM	DNER
≥ 500 metros	200 metros a 7000 metros

DNER (1994) utiliza o método de diferenças acumuladas propostas por AASHTO (1986), e cada variação de coeficiente angular da curva obtida indica uma mudança do comportamento médio de um determinado segmento para outro, delimitando as extremidades dos segmentos homogêneos. No entanto, o método é caracterizado por uma base estatística rigorosa, o que o torna excelente para verificar a confiabilidade das outras possíveis metodologias que venham a ser desenvolvidas. Foi observado que a segmentação realizada pela Diferença Cumulativa Aproximada (CDA) não consegue identificar algumas variações significativas, a partir dos resultados fornecidos pela abordagem bayesiana.

DNIT (2008) menciona que 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. A definição de classes para os segmentos homogêneos deve possibilitar a caracterização precisa de trechos e ao mesmo tempo dar praticidade à análise. A classificação adotada pelo DNIT leva em consideração três especificações: tipo de pista (simples ou dupla), ocupação da região lindeira (urbana e rural) e curvatura vertical do segmento (plano, ondulado e montanhoso).

HSM (AASHTO, 2010) preconiza como regra geral que o comprimento do trecho não deve ser inferior a 200 metros e utiliza o preconizado pela AASHTO (1986), que trata das diferenças acumuladas, e contempla outras variáveis para o processo de divisão de segmentos homogêneos como:

- Largura de Faixa de Rolamento
- Largura de Acostamento
- Índice de obstáculos laterais à direita do sentido de tráfego
- Densidade de acessos
- Relevo plano.

2.3 Estudos Envolvendo Segmentos Homogêneos

Vogt *et al.* (1998) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar interseções em estradas rurais dos estados de Minnesota e Washington. Os dados deste estudo foram obtidos a partir de *Highway Safety Information System* (HSIS) e de planos de construção *as-built*. Os segmentos rodoviários foram identificados em cada estado: Segmentos HSIS de duas pistas nos dois sentidos, com comprimentos dos segmentos de 160 m, largura de vias não superior a 7,32 m, e acostamento não superior a 3,66 m. Foram considerados os valores de volume médio diário (VMD), comprimento do segmento e largura da faixa. Tomou-se cuidado para que a amostra apresentasse boa representatividade. As principais variáveis utilizadas na avaliação de segmentos rodoviários foram como se segue:

- Número total de acidentes fora da interseção no período considerado;
- Acidentes com vítimas no período de tempo: acidentes envolvendo fatalidade, lesão, ou possível lesão. Excluem-se os acidentes em que ocorreram apenas danos materiais;
- VMD: Volume médio diário de veículos por dia. Para Minnesota foram utilizadas série histórica de 5 anos (1985 a 1989). Já para Washington a série histórica foi de 3 anos (1993 a 1995);
- Comprimento do segmento (em metros);
- Largura da faixa em metros;

- Largura do acostamento: Medida do acostamento de um lado da rodovia, ou a largura média do acostamento nos casos em que as dimensões sejam diferentes;
- Grau de curva horizontal em um segmento: Inclinação da curva em percentual;
- Peso por número de curva horizontal: É o índice da curva horizontal, encontrado no trecho completo dividido pelo comprimento do segmento. Esses pesos são não-negativos;
- Peso da altura da curva vertical: É o comprimento da proporção da altura da curva vertical, encontrada no trecho completo, dividido pelo comprimento do segmento. Esses pesos são não negativos;
- Peso do Grau Absoluto de um segmento: é o comprimento da referida porção de uma reta no segmento, dividido pelo comprimento do segmento. Esses pesos são não negativos;
- Classificação de risco à beira da estrada: RHR. Esta medida tem valores inteiros de 1 a 7 (um a sete) e representa um nível médio de perigo em o ambiente de beira de estrada ao longo do segmento (Zegeer *et al.* 1987);
- Densidade: Densidade média em número de calçadas por quilômetro;
- Velocidade regulamentada: Esta variável, que por vezes, teve três ou quatro valores diferentes dentro de um segmento, foi obtida a partir de fotos e/ou arquivos HSIS. Não houve diferença para automóveis e caminhões;
- Percentual de veículos comerciais de tráfego: Esta variável é uma média obtida a partir de arquivos HSIS para os períodos de tempo considerado;

Outras variáveis derivadas a partir do acima exposto e utilizadas na modelagem incluem:

- Exposição: em milhões de veículos por km em função do período analisado;
- Largura total: Largura da faixa do segmento em centímetros;

Para esse estudo, Vogt *et al.* (1998) utilizaram três metodologias no processo de modelagem de previsão de acidentes, sendo eles: Poisson, Binominal Negativa e Binomial Negativa Prolongada. A decisão da metodologia a ser utilizada baseou-se nos critérios de simplicidade (uso de variáveis que são facilmente compreendidas), abrangência e significado (coeficientes de validação). O modelo desenvolvido teve como

premissa a média do número de acidentes em um segmento como uma função linear generalizada que mostra o coeficiente estimado de cada uma das variáveis no modelo.

Tanto no contexto da distribuição de Poisson quanto da Binomial Negativa, houveram indícios de superdispersão dos dados. Isso pôde ser explicado pelo número significativo de pontos de estudo com número zero de acidentes. Dessa forma, baseando-se em Hauer *et al.* (1988), o autor utilizou a modelagem com distribuição Binomial Negativa para a estimativa de previsão de acidentes, considerando que essa metodologia tem a vantagem de prestar-se muito bem para aplicação de técnicas Bayesianas e quando há dados dispersos.

Em resumo, o estudo apontou limitações no modelo como distância de visibilidade principalmente nas curvas, volume nos cruzamentos e variáveis meteorológicas. Vogt *et al.* (1998) mencionam que incluir essas informações no processo de modelagem pode mudar por completo os resultados.

Cafiso e Graziano (2012) analisaram a situação da superfície e a capacidade estrutural do sistema de pavimento nas rodovias da Comunidade Europeia para propor uma solução de reabilitação. Foi necessário realizar a divisão das rodovias em setores homogêneos. Esta tarefa foi realizada utilizando a metodologia proposta por Vrancianu (2006) que considerou as seguintes variáveis: deflexões máximas registradas na rodovia; média da deformação máxima registrada; cálculo das somas acumuladas; separação das zonas para as quais a inclinação do gráfico é aproximadamente constante (uma mudança na inclinação indica falta de homogeneidade); avaliação estatística conforme teste T-Student.

Em resumo, o estudo buscou avaliar as alterações usando a variável deflexão para dividir um trecho longo da rodovia em segmentos homogêneos. Para isso esta dissertação contou com a aplicação do Método de Diferenças Acumuladas indicado pela AASHTO (1993) que tem como abordagem a comparação da sequência de somas cumulativas reais em uma série de medições com os valores resultantes da adição de médias. Ainda de acordo com AASHTO (1986) um limite de seção é indicado sempre que existir "tendência" na série de diferenças de alterações cumulativas de positiva para negativa ou vice-versa. Esse procedimento consiste na seguinte sequência de cálculo:

- Calcula-se o valor médio da deflexão para todo o trecho (D).

- Calcula-se a diferença entre cada valor individual e o valor médio.
- Calculam-se os valores acumulados das diferenças.
- Gera-se em um gráfico, nas abscissas as distâncias e nas ordenadas os valores acumulados das diferenças.

Cada variação de coeficiente angular da curva obtida indica uma mudança do comportamento médio de um determinado segmento para outro, delimitando as extremidades dos segmentos homogêneos. A Figura 2-3 apresenta um exemplo de delimitação dos segmentos homogêneos pelo método das diferenças acumuladas.

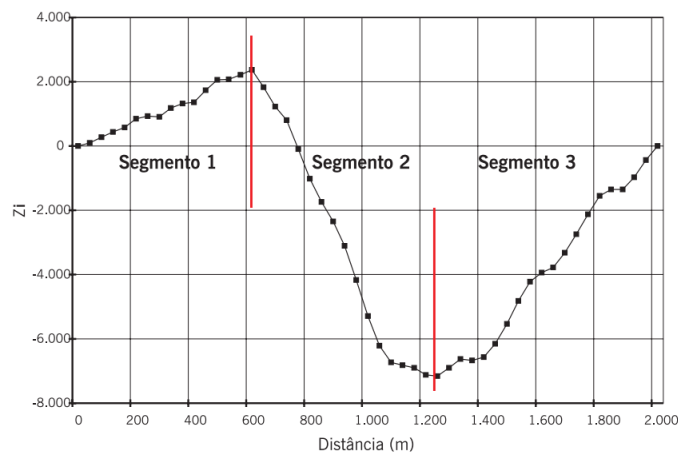


Figura 2-3: Delimitação dos Segmentos Homogêneos
Fonte: (AASHTO, 1993)

Thomas (2004) menciona que as concessionárias possuem bases de dados contendo informações de características físicas e operacionais como por exemplo, largura de faixa e Volume Médio Diário Anual , dentre outros e existe uma dedicação à garantia do processo de coleta e armazenamento destes elementos para que tenha o máximo de qualidade possível. Estas informações devem servir de base para a avaliação do estado atual de toda a estrada, bem como o estado dos segmentos. Usando esses dados é possível criar modelos para segmentar essas rodovias.

Thomas (2004) alerta que a quantidade de informações não garante um modelo bom, uma vez que, caso haja lacunas no banco de dados poderá existir grandes dispersões nos resultados finais e conseqüentemente uma falha no processo de divisão de segmentos homogêneos. Para a divisão em segmentos homogêneos o autor utilizou o método de diferenças acumuladas recomendado

Ainda nesse contexto, uma vez que qualquer série de diferenças acumuladas começa e termina em zero e tem pelo menos um pico (a não ser que todos os valores de medição sejam idênticos), é praticamente verdade que, pelo menos, duas seções serão identificadas em qualquer série. A implementação bem sucedida da abordagem de “diferença acumulada” repousa sobre o desenvolvimento de critérios sensatos para interpretar a série calculada. É provável que todos os critérios que funcionam bem para uma vasta gama de séries de medições será dependente de dados. Ressalta-se que esta metodologia requer dados altamente confiáveis, pois, caso contrário, os resultados serão distorcidos.

O método proposto por Rübensam e Schulze (1996) identifica as seções avaliando diferenças absolutas de valores limítrofes desta série suavizada. Eles sugerem primeiro a suavização de uma série de medições de comprimentos da rodovia e, em seguida, analisam essa série suavizada. A partir da série de medições identificadas é construída uma série suavizada pelo cálculo da média aritmética do valor de medição e os seus vizinhos da esquerda e da direita. Um ponto de observação nessa metodologia é que as séries resultantes contêm menos elementos que a série original, mas não suficiente para invalidar o modelo. Salienta-se que em sua própria obra, os autores mencionam que essas propostas são de certa forma experimentais e que vários requisitos ainda devem ser avaliados.

A abordagem desenvolvida por Thomas (2003) e Thomas (2004) vê uma parte de uma série de medições de um trecho como homogênea, se essa parte pode ser descrita por um único processo estatístico particular, e que insere um novo intervalo sempre que há uma mudança no parâmetro. O estudo de Thomas (2003) que analisa uma série de medições de perfis de estradas modernas revela que a variabilidade das medições individuais em torno de um valor médio é muitas vezes do mesmo tamanho que os "saltos" entre os valores médios das seções adjacentes homogêneas. Por outro lado, muitas vezes, um número relativamente grande de medidas para ambos os lados de uma seção, que estão disponíveis, facilitam a detecção de pequenas mudanças relativas no valor médio. Além disso, a própria variabilidade está sujeita a mudanças abruptas frequentemente.

Às vezes, estas alterações coincidem com mudanças no nível de uma série, mas este não é geralmente o caso. Além disso, as medições adjacentes são tipicamente estatisticamente não independentes, mas correlacionadas. Um olhar mais atento revela

muitas vezes uma auto-correlação positiva de primeira ordem de magnitude variável. Normalmente, o coeficiente de auto-correlação é algo entre 0,2 e 0,7, mas os valores mais extremos são possíveis. Todas essas características refletem diferenças na superfície física da estrada e a situação de medição que é em função da superfície da estrada. Sempre que um ou vários destes critérios mudam, a série de medição é "picada". As peças são então identificadas homogêneas no sentido de que podem ser descritas por um único processo auto regressivo de primeira ordem com parâmetros constantes.

Este método estatístico descrito em detalhes na obra de Thomas (2003) segue os princípios bayesianos de processamento de informações, mas é restrito a situações em que se sabe de antemão que a auto-correlação é total. Thomas (2004) torna este método operacional para séries de medições de comprimento arbitrário. Os cálculos necessários entram em um contexto particular associado ao método proposto no ano anterior. Esta distribuição está condicionada à existência de uma transição e à altura de todas as barras do gráfico obtido através da série de dados da rodovia A Figura 2-4 ilustra as informações descritas acima.

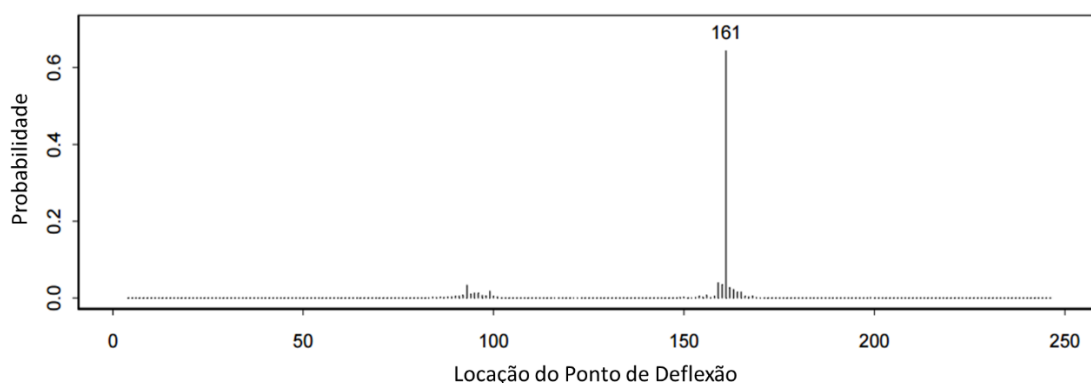


Figura 2-4: Identificação de Deflexões utilizando abordagem bayesiana
Fonte: (Thomas, 2003 *apud* AASHTO, 1986)

Para uma correta avaliação da abordagem bayesiana é necessário identificar se uma transição (deflexão) é existente ou não, o que é facilmente feito com a ajuda da probabilidade (uma transição). Um limite para essa probabilidade é tudo o que é necessário para automatizar o processo. Este procedimento é utilizado de forma iterativa em Thomas (2004), a fim de detectar um número arbitrário de transições em longos trechos da rodovia. O método de Thomas (2003) e Thomas (2004) baseia-se explicitamente em um modelo estatístico específico e avalia as informações em uma

determinada série de medições, assumindo uma confiabilidade deste modelo. Mesmo quando os modelos não possuem o pressuposto exato, o processo estatístico utilizado é muitas vezes uma boa aproximação dos processos mais envolvidos e, conseqüentemente, torna os resultados mais satisfatórios. No entanto, caso tenha dados com baixa qualidade ou até mesmo a falta de algum dado os resultados não serão satisfatórios.

Na literatura há diferentes abordagens para segmentação de rodovias. Miaou (1993) sugeriu que as seções curtas, inferiores ou iguais a 80 metros poderiam criar viés de estimação de modelos lineares, mas não quando se utiliza modelos de Poisson. Da mesma forma, Ogle *et al.* (2011) demonstraram que comprimentos curtos de segmentos, menos de 160 m, causam dispersões nos resultados dos acidentes. Cafiso *et al.* (2011) mostraram que para aumentar o desempenho, o comprimento do segmento deve estar relacionado com VMDA. Qin *et al.* (2012) estudaram a relação entre a segmentação e a análise de triagem de segurança utilizando diferentes comprimentos de segmento para identificar locais de risco, e concluíram que segmentos curtos, bem como aqueles demasiadamente longos criam um viés na identificação de locais com problemas de segurança.

Persaud *et al.* (2012) realizaram um estudo considerando cinco abordagens diferentes para a definição de segmentos homogêneos. Segundo os autores, o modelo de previsão de acidentes pode apresentar alguns problemas quando há um número significativo de locais com zero acidentes. A seguir são apresentadas as cinco propostas de segmentação realizada:

- Segmentação 1: segmentos de homogeneidade em relação ao VMDA e curvatura, como sugerido pelo HSM, utilizando VMDA e a curvatura como variável explicativa;
- Segmentação 2: Organização dos dados de forma que cada segmento tenha duas curvas e duas tangentes, evitando segmentos curtos quando se utiliza uma única curva;
- Segmentação 3: Segmentos com VMDA constante e outras variáveis que podem não ser constantes.
- Segmentação 4: Segmentos com comprimento constante. Especificamente, foi escolhido o comprimento de 650m, e selecionado para ser mais longo do que apenas a curva horizontal mais longa;

- Segmentação 5: Todas as variáveis utilizadas no procedimento são constantes dentro de cada segmento com o seu valor original;

Para este estudo, Persaud *et al.* (2012) utilizaram as variáveis VMDA, raio da curva, inclinação e barreira, a saber:

- Curvatura foi tratada como taxa de alteração da curva (CCR) do segmento avaliado, em que Y_i é o ângulo de deflexão de um elemento contíguo (curva e tangente) e dentro de um segmento de comprimento L , conforme equação 2.1.

$$CCR = \frac{\sum_i |Y_i|}{L} \text{ [ângulo/m]} \quad 2.1$$

- Inclinação: Taxa de variação (SCR) para o perfil vertical do segmento da rodovia, que representa a variação da inclinação no interior de um único segmento, em que δ_i é o ângulo de deflexão para uma inclinação relacionada com o alinhamento horizontal dentro de uma seção de comprimento L , conforme equação 2.2.

$$SCR = \frac{\sum_i |\delta_i|}{L} \text{ [ângulo/m]} \quad 2.2$$

- Riscos à margem de uma rodovia (RSH), que se baseia tanto no tipo de seção (trincheira, aterro, viaduto) e do tipo de barreira com referência à norma europeia EN 1317-1 (1998). O RSH assume seis possíveis valores (de 1 a 6, em ordem crescente de perigo potencial), definidos na Tabela 2-3.

Tabela 2-3: Definição do Risco à margem da estrada RSH

ID	Tipo
1	Trincheira
2	Aterro com barreiras adequadas (em consenso com norma EN 1317-1)
3	Viaduto com barreira lateral, adequada
4	Aterro onde a parede de obturação não é adequada
5	Viaduto com barreira lateral, inadequada
6	Viaduto com outras combinações

- Percentual do comprimento relativo à existência de túnel no segmento analisado;
- Definido como a média ponderada do greide vertical I (para cima e para baixo) com o comprimento de referência no interior de cada segmento;

- Definido como a média ponderada do greide vertical Id (apenas para baixo) com o comprimento de referência no interior de cada segmento.

Persaud *et al.* (2012) utilizaram o método Equação de Estimação Generalizada GEE para estimar os coeficientes do modelo, usando o *software Statistical Analysis System (SAS)*. O procedimento GEE que pode ser classificado como um análogo multinomial de uma função quase probabilidade, permite a consideração da tendência de tempo nos modelos. Consistente com o estado da investigação no desenvolvimento destes modelos, a distribuição de erro binomial negativa foi assumida para a contagem de falhas observadas.

Especificamente, o GEE explica a correlação temporal que resulta quando os dados por longos períodos são desagregados em observações separadas para cada ano. O autores desenvolveram três modelos, o primeiro foi calibrado considerando todas as variáveis disponíveis. No segundo modelo foram utilizados apenas curvatura e VMDA e no terceiro apenas o VMDA como varável explicativa.

No que diz respeito aos resultados, Persaud *et al.* (2012) mencionam que a segmentação 4, com comprimento de segmento constante, permite a inserção de um maior número de variáveis (oito) do que as outras segmentações. A segmentação 3 baseada apenas em VMDA, permite a estimação de um modelo com cinco das oito variáveis consideradas no processo.

Da mesma forma, para o modelo de segmentação 2, conseguido através da inserção de duas curvas e duas tangentes em cada segmento, cinco variáveis foram também significativas, mas o valor de Akaike (AIC) é menor do que para o Modelo de Previsão de Acidentes MPA da Segmentação 3. A segmentação 5 apresentou os piores resultados em termos de número de variáveis que poderiam ser incluídas no modelo, uma vez que todas as variáveis são constantes dentro de cada segmento. Além disso, o modelo para Segmentação 5 apresentou o maior valor de AIC. Em resumo, a Segmentação 2 apresentou os melhores resultados para a forma do modelo primário, com base tanto nos indicadores de desempenho (Estimativa Akaike ou AIC) e nos *cure plots* das curvas residuais.

Para comparar as variáveis consideradas no processo de divisão de segmentos homogêneos tratadas nos artigos apresentados, foi elaborada a Tabela 2-4 demonstrando as variáveis adotadas em cada estudo, ressaltando que os estudos possuem metodologia própria para realizar tal divisão.

Tabela 2-4: Resumo das variáveis consideradas nos referenciais teóricos

Variáveis	DNER (1994)	DNIT (2008)	AASHTO (1986)	Vogt <i>et al.</i> (1998)	Cafiso e Graziano (2012)	Persaud <i>et al.</i> (2012)	Rübensam e Schulze (1996)	Thomas (2003) e (2004)
Tipo de Terreno		x						
Tipo de Pista		x						
Número total de acidentes				x				
Tráfego médio diário				x		x		
Acessos			x					
Greide			x					
Iluminação								
Comprimento do segmento				x		x		
Largura da faixa			x	x				
Grau de curva	x	x	x	x		x		
Obstáculos Laterais			x					
Velocidade regulamentada				x				
Percentual de veículos comerciais				x				
Largura do acostamento			x	x				
Deflexões máximas					x		x	x
Média da deformação máxima registrada					x			
Cálculo das somas acumuladas					x			
Separação por greide constante					x			
Existência de túnel						x		
Risco às margens da estrada						x		

2.4 Modelos de Previsão de Acidentes (MPA)

Os modelos de previsão de acidentes (MPA) são modelos estatísticos de regressão que relacionam o número de acidentes de trânsito com atributos geométricos e de operação da via como: volume veicular, número de faixas de tráfego, número de aproximações, entre outros. A distribuição da frequência dos acidentes em rodovias não guarda muita paridade com aqueles modelos clássicos estatísticos. O evento acidente pode ser simbolizado por uma variável matemática discreta e positiva que ocorre durante certo espaço temporal. Se analisado o período de retorno, este pode ser considerado um acontecimento raro e esporádico.

Esses modelos estatísticos são uma ferramenta importante para a estimativa da segurança viária em interseções ou segmentos viários, seja em rodovias ou áreas urbanas. Dentre todos os modelos existentes, os mais utilizados para o processo de previsão de acidentes adotam a distribuição Binomial Negativa e Poisson, em função da elevada dispersão dos dados de acidentes. Essas distribuições são utilizadas em eventos que são discretos e aleatórios e, além disso, valores positivos inteiros.

Claude (2012) menciona que o uso da distribuição Binomial Negativa é recomendado no caso em que a dispersão dos dados é incompatível com o pressuposto de igualdade entre a média e a variância dos dados, assumido na distribuição de Poisson. Cunto (2009) menciona que a distribuição de Poisson é utilizada para determinar o número de acidentes ocorridos durante um certo intervalo de tempo. A escolha baseia-se no fato de que o número de acidentes é razoavelmente estável para um período e cada acidente é imprevisível, além de os acidentes serem eventos independentes.

Cunto (2009) descreve que na distribuição de Poisson, considerando que Y seja uma variável aleatória que representa o número de acidentes de trânsito observados em um determinado tipo de entidade viária, a probabilidade de ocorrer y acidentes na entidade i em um dado intervalo de tempo pode ser representada pela Equação 2.3:

$$P(Y = y_i) = \frac{\mu_i^{y_i} \exp(-\mu_i)}{y_i!} \quad 2.3$$

Em que $\mu_i > 0$ é o valor esperado de Y_i .

Cunto (2009) ainda menciona que no caso da distribuição Binomial Negativa, a expressão para a estimativa da probabilidade da ocorrência de y acidentes na entidade i é representada pela Equação 2.4:

$$P(Y = y_i) = \binom{y_i - 1}{r - 1} \theta^r (1 - \theta)^{y_i - r} \quad 2.4$$

Em que:

$$y = r, r + 1, \dots \text{ para } 0 < \theta \leq 1$$

Considerando a referida distribuição (Equações 2.5 e 2.6):

$$E(y) = \mu_i = r/\theta \quad 2.5$$

$$V(y) = \frac{r(1-\theta)}{\theta^2} \quad 2.6$$

Em que:

$\theta = (\beta^T, \emptyset)^T$ o logaritmo da função de verossimilhança

μ_i = número de acidentes esperado

2.4.1 Modelo Linear Generalizado (MLG)

Barbosa *et al.* (2013) mostram que devido à capacidade relativa de lidar com alguns aspectos estocásticos raros da natureza aleatoriamente inerente de falhas, como o fenômeno da regressão à média e a dispersão da frequência de acidente, a abordagem de modelagem linear generalizada (MLG) recentemente se tornou-se amplamente aplicada. A expressão geral mais comumente encontrada para modelos de previsão de acidentes pode ser descrita na Equação 2.7 (Hakkert *et al.*, 1996; Sawalha e Sayed, 2006; AASHTO, 2010):

$$Y = \alpha \left[\prod_l (A_l)^{\beta_l} \right] * e^{\sum_j (y_j B_j)} \quad 2.7$$

Em que:

Y é número de acidentes esperado ao longo de um determinado intervalo de tempo (ano);

A e B são variáveis preditivas;

α , coeficientes β_i , γ_j são coeficientes do modelo.

De forma geral, a estrutura de um MLG é formada por três partes:

- Componente aleatória: composta de uma variável resposta y com n observações independentes, um vetor de médias μ e uma distribuição de probabilidade pertencente à família exponencial;
- Componente sistemática: composta por variáveis explicativas $X_1 \dots X_p$ e pelos parâmetros desconhecidos.
- Função de ligação: função monotônica diferenciável que relaciona os dois componentes anteriores.

Para Cunto e Nodari (2011), as técnicas de modelagem linear generalizada (MLG) são adequadas porque permitem maior flexibilidade da hipótese da normalidade dos erros que existem em outras técnicas, como é o caso dos modelos de regressão linear. Segundo Cordeiro (1986), a palavra “generalizado” significa uma distribuição mais ampla do que a normal para a variável resposta e uma função não-linear conectando a média desta variável com a parte determinística do modelo.

Turkman *et al.* (2000) mencionam que os Modelos Lineares Generalizados (MLG) tiveram suas primeiras aparições por volta dos anos 70 apresentando um avanço significativo no que diz respeito à estatística aplicada. Foram necessários aproximadamente 19 anos para que a teoria e prática dos Modelos Lineares Generalizados fosse disseminada publicamente. A importância dos Modelos Lineares Generalizados não é apenas de natureza prática. Do ponto de vista teórico a sua importância incide, essencialmente, do fato da metodologia destes modelos constituir uma abordagem padronizada de muitos algoritmos correntemente usados nas aplicações e promover o papel central da verossimilhança na teoria da inferência.

Demétrio (2008) cita que os Modelos Lineares Generalizados introduzidos por Nelder e Wedderburn (1972) correspondem a uma síntese destes e de outros modelos, vindo assim

unificar, tanto do ponto de vista teórico como conceitual, a teoria da modelagem estatística até então desenvolvida. Esses outros modelos descritos são: Modelo de regressão linear clássico; Modelos de análise de variância e covariância; Modelo de regressão logística; Modelo de regressão de Poisson; Modelos log-lineares para tabelas de contingência multidimensionais; Modelo probit para estudos de proporções, etc.

Cadima (2013) menciona que a generalização dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) incide essencialmente sobre dois aspectos fundamentais. Na primeira, a distribuição de probabilidades associada à variável-resposta aleatória Y já não se restringe à Normal, podendo ser qualquer distribuição numa classe designada família exponencial de distribuições. Já na segunda a relação entre a combinação linear das variáveis preditoras e a variável-resposta pode ser mais geral do que no Modelo Linear.

As funções densidade de probabilidades das distribuições da família de exponencial podem ser expressas pela Equação 2.8:

$$f(y; \theta, \phi) = \exp \left\{ \frac{y\theta - b(\theta)}{a(\theta)} + c(y, \theta) \right\} \quad 2.8$$

Em que $a(\phi)$ $b(\theta)$ e $c(y, \phi)$ são funções específicas. O parâmetro θ é o parâmetro de localização e ϕ é o parâmetro de dispersão, muitas vezes denominado σ^2 .

No âmbito dos modelos mistos com efeitos fixos e aleatórios, o componente sistemático dos MLG refere-se aos próprios modelos lineares mistos clássicos exceto o termo de erro, sendo que, para o caso de variáveis binomiais, a função de ligação deve ser incorporada aos preditores dos efeitos aleatórios e estimadores dos componentes de variância dos efeitos aleatórios, conforme Gilmour *et al.* (1985) e Schall (1991).

2.4.2 Equação de Estimação Generalizada (GEE)

Silva *et al.* (2008) descrevem que a sensibilidade de um diagnóstico é a capacidade do mesmo reconhecer os verdadeiro-positivos, e a especificidade é o poder de distinguir os verdadeiro-negativos. Em algumas situações a existência de mais de dois resultados requer a estimação de múltiplas sensibilidades e especificidades. Nesse caso é de interesse utilizar uma metodologia que leve em consideração a correlação existente entre os múltiplos testes realizados no mesmo indivíduo. Uma metodologia disponível para

esses casos refere-se às equações de estimação generalizadas (GEE) propostas por Liang e Zeger (1986) *apud* Venezuel (2008), para estimação pontual e construção de intervalos de confiança para sensibilidade e especificidade com dados binários correlacionados.

Segundo Agranonik (2009), a principal vantagem do GEE é que este avalia a relação entre a variável resposta e as variáveis preditoras em um contexto geral (população), enquanto o modelo de efeitos estocásticos tem como foco o indivíduo. Desse modo, quando se tem interesse em avaliar diversas medidas de um mesmo indivíduo em período de tempo t , e avaliar seu crescimento individual, é mais indicado utilizar o GEE. Agranonik (2009) menciona, ainda, que para a elaboração do GEE, Liang e Zeger (1986) basearam-se nos MLG, incluindo uma estrutura de correlação de trabalho entre as observações para o alcance de estimativas consistentes e não viciadas de forma que não seja necessário adotar que a variável resposta seja da família exponencial, entretanto, assume-se que a média e a variância estão qualificadas como em um MLG. O GEE estima coeficientes de regressão e erros padrões com distribuições amostrais descrevendo o comportamento de limites normais.

Inicialmente Liang e Zeger (1986) introduziram o conceito de GEE voltado para estimação somente da média, no qual é necessário especificar corretamente apenas a estrutura do modelo de regressão, tratando os parâmetros de correlação como parâmetros de perturbação. Posteriormente, Prentice (1988) descreve um segundo tipo de GEE, conhecido por GEE2, no qual a estimação da média e da correlação ocorrem simultaneamente e, nesse caso, torna-se necessário especificar corretamente a estrutura de correlação, além do modelo para a média. Zorn (2001) recomenda a utilização do GEE2 nos casos em que o esqueleto de relação for conhecido, caso contrário a estimativas podem não ser consistentes.

Considerando n grupos de indivíduos análogos, onde y_{ij} é a variável resposta de interesse para o j -ésimo indivíduo do i -ésimo grupo e X_{ij} é um vetor $p \times 1$ de covariáveis para o j -ésimo indivíduo do i -ésimo grupo, $i = 1, \dots, n$ e $j = 1, \dots, m_i$. O valor de m pode variar de grupo para grupo. Define-se, para o i -ésimo grupo, o vetor $m_i \times 1$ de respostas, $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{im_i})'$ e a matriz de covariáveis $m_i \times p$, $X_i = (X_{i1}, \dots, X_{im_i})'$. Para se escrever as Equações de Estimação Generalizadas supõe-se que a relação entre a média da variável

resposta, μ_i , e as variáveis explicativas X_i , pode ser expressa sob forma linear através de uma de ligação conhecida, g conforme a Equação 2.9:

$$g(\mu_i) = X_i' \beta \quad 2.9$$

Em que: β é o vetor; e p parâmetros.

A variância da variável resposta pode ser expressa por uma função conhecida da média desta variável, conforme a Equação 2.10

$$V_i = f(\mu_i) / \phi \quad 2.10$$

Em que ϕ é o parâmetro de dispersão definido como na família exponencial.

Segundo Agranonik (2009), é possível identificar que os autores deliberam a relação entre a média da variável resposta e as variáveis explicativas e a relação entre variância e a média da variável resposta da mesma maneira que em um MLG. É importante ressaltar que no GEE, apesar de observações pertencentes a um mesmo grupo possam estar correlacionadas, supõe-se que observações em grupos diferentes sejam independentes.

3 METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia deste trabalho, que tem por objetivo propor um processo para definição de segmento homogêneo e gerar um modelo de previsão de acidentes para os segmentos homogêneos identificados, está estruturada em oito etapas mostradas no fluxograma da Figura 3-1.

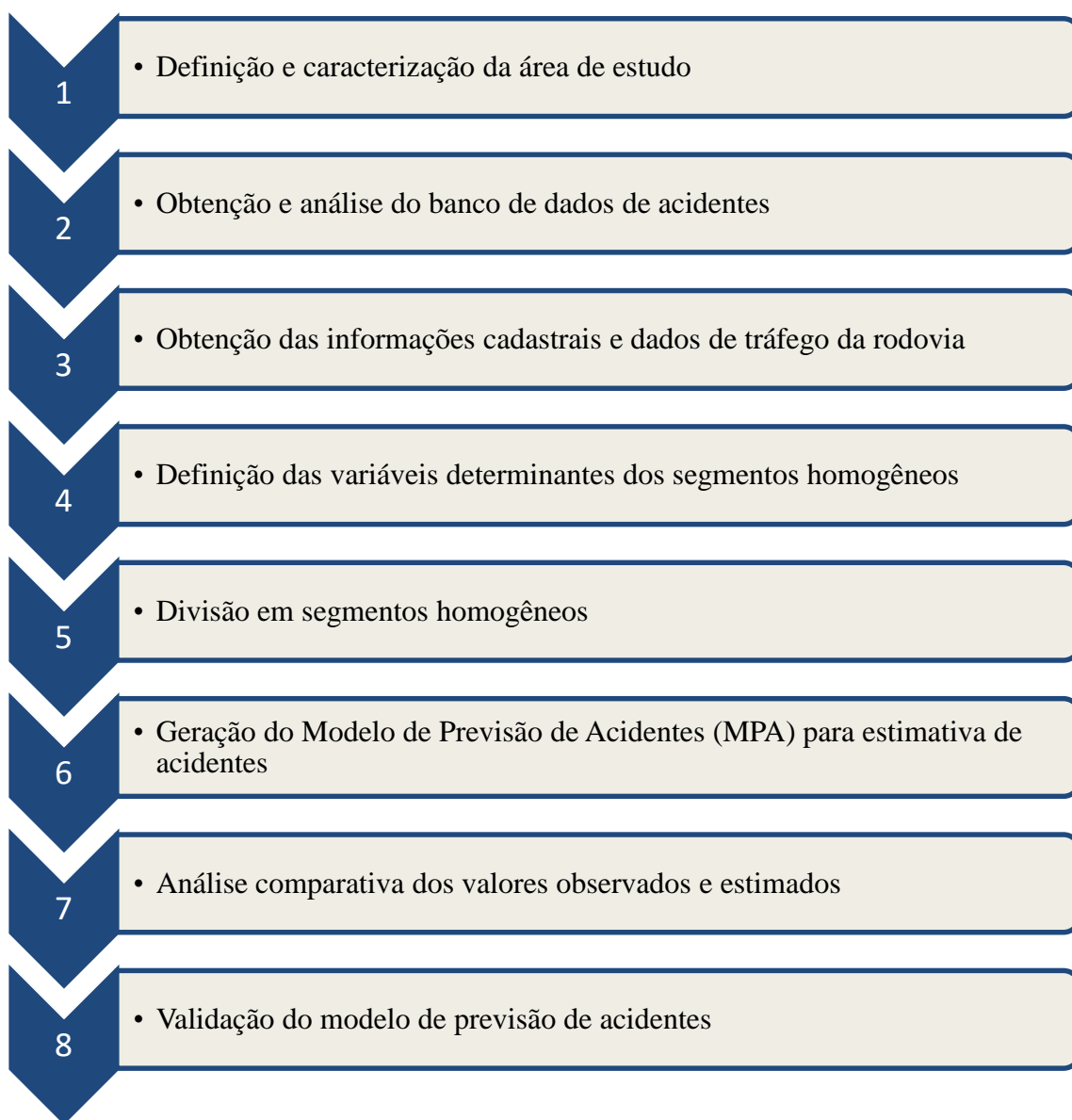


Figura 3-1: Fluxograma das etapas da metodologia

Os itens seguintes descrevem cada uma das oito etapas da metodologia desta pesquisa.

3.1 Definição e Caracterização da Área de Estudo

Esta etapa consiste na caracterização da área de estudo e do trecho da rodovia avaliado. As fontes de consulta para detalhamento da rodovia de estudo são a Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas (SETOP) e a própria Concessionária da rodovia, que detém todas as informações necessárias para o presente trabalho.

A caracterização da rodovia será realizada de acordo com o órgão gestor, neste caso a SETOP. São descritas as características da rodovia em estudo e o modelo de concessão.

3.2 Obtenção e Análise do Banco de Dados de Acidentes

Esta etapa compreende a descrição do processo de obtenção do banco de dados de acidentes registrados pela Concessionária, no período compreendido entre 2010 e 2012. São, ainda, realizadas as análises de consistência do banco de dados obtido para o presente trabalho.

A partir do histórico de estudos de divisão de segmentos homogêneos já apresentado em capítulos anteriores e, de acordo com a metodologia proposta neste estudo, são coletados os dados necessários à elaboração da metodologia de segmentação homogênea, como número de acidentes, volume de tráfego, greide etc.

Conforme mencionado anteriormente, a baixa qualidade do banco de dados de acidentes é um problema que afeta diversas análises. Para este estudo, foram identificados problemas em alguns registros, como a falta de informação do sentido da pista onde ocorreu o acidente.

3.3 Obtenção de informações cadastrais e dados de tráfego da rodovia

Nesta etapa é estudado o cadastro físico da rodovia realizado pela própria concessionária, que consiste no levantamento planialtimétrico da Rodovia MG-050 disponível em formato dwg e apresentado em seções com 500 metros de extensão. Nesse levantamento São obtidas informações relativas ao raio de curva e inclinação (greide). A concessionária detém também informações relativas à sinalização, largura de faixa e de acostamento, volume de tráfego, existência de área urbana, dentre outras variáveis que São melhor apresentadas em itens posteriores. Essas informações são levantadas pela equipe de engenharia da concessionária, que atualiza constantemente o quadro de características da

rodovia. A concessionária adota uma divisão (segmentação) da rodovia segundo aspectos gerenciais e operacionais. Esta divisão será analisada para identificar os registros/critérios de homogeneidade definidos pela Concessionária.

Faz parte desta terceira etapa a obtenção e análise dos dados de tráfego da rodovia provenientes das praças de pedágio gerenciadas pela concessionária e dos analisadores de tráfego (ATs), distribuídos ao longo da rodovia. Assim, são obtidos o volume médio diário anual (VMDA) para o trecho de rodovia que será analisado no estudo de caso.

3.4 Definição das variáveis determinantes do segmento homogêneo

Considerando os referenciais teóricos já apresentados neste trabalho foi possível levantar as variáveis preponderantes para o processo de divisão da rodovia em segmentos homogêneos. Buscou-se incorporar o maior número de variáveis mencionadas em artigos científicos e manuais, por exemplo HCM e HSM, dentre outros pertinentes ao assunto. As variáveis selecionadas neste trabalho, para a determinação de segmentos homogêneos, estão apresentadas no fluxograma da **Erro! Fonte de referência não encontrada**. Figura 3-2.

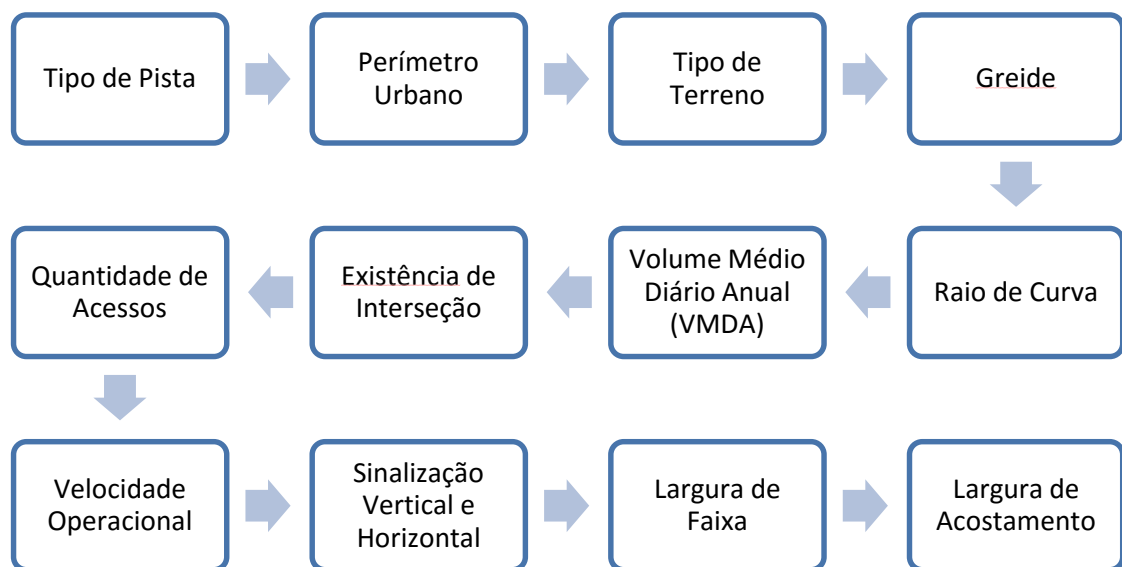


Figura 3-2 : Variáveis utilizadas na divisão de segmentos homogêneos

O fluxograma acima apresenta a ordem das variáveis para a análise da homogeneidade de segmentos. O detalhamento de cada variável é apresentado nos itens seguintes.

3.4.1 Tipo de Pista

Esta variável define a configuração da plataforma da rodovia, que pode ser classificada como: (i) pista simples ou singela operando em sentido duplo de tráfego com uma faixa por sentido; (ii) pista dupla com divisor físico central; e (iii) pista simples com operação em terceira faixa em um dos sentidos de tráfego.

3.4.2 Perímetro Urbano

A variável indica a presença de perímetro urbano no trecho em análise. O problema da segurança em segmentos rodoviários que atravessam áreas urbanas, aqui denominado travessias urbanas, é um assunto amplamente discutido pela Engenharia de Tráfego.

Ferraz *et al.* (2012) mencionam que neste trecho de rodovia coincidem dois tipos de usuários. Um deles, circulando a alta velocidade, desenvolvendo percursos de longa distância. O outro, circulando a menor velocidade, procurando tornar mais rápida sua viagem entre dois pontos de sua cidade. Como consequência disto, surge um problema de conflito de interesses entre esses dois grupos, os usuários do tráfego direto e os usuários do tráfego local. Para agravar a situação, estes fluxos heterogêneos, interagem com outro grande número de veículos e pessoas que circulam pelo local: veículos motorizados (motocicletas) e não motorizados (bicicletas e de tração de animal) que, junto com pedestres, circulam pela faixa de domínio e atravessam a estrada com distintos níveis de atenção e cuidado. Ainda, os usuários sofrem a contaminação visual de propagandas e comércios que desviam sua atenção.

Segundo Ferraz *et al.* (2012), por vezes, os trechos de perímetro urbano apresentam um traçado inadequado resultante de adaptações a situações pré-existentes, ou que aos poucos, cedeu espaço ao crescimento descontrolado da cidade, diminuindo a capacidade e qualidade operacional da via. A existência de aglomeração urbana às margens de rodovia provoca conflitos entre o tráfego direto (rodoviário) e o tráfego local (urbano) potencializando a incidência de acidentes de trânsito, principalmente os atropelamentos. Esta configuração influencia o comportamento do motorista e pode causar alterações no

desempenho do tráfego rodoviário. Neste contexto, a variável Perímetro Urbano será a segunda variável analisada no processo de definição de segmento homogêneo.

3.4.3 Tipo de Terreno

No que diz respeito à natureza do terreno de uma rodovia, o *Highway Capacity Manual* (HCM, 2010) adota as seguintes definições, premissas deste estudo:

- Terreno Plano: Qualquer combinação de alinhamentos horizontais e verticais que permita aos veículos pesados manter aproximadamente a mesma velocidade que os carros de passeio. Normalmente inclui rampas curtas de até 2% de greide;
- Terreno Ondulado: Qualquer combinação de alinhamentos horizontais e verticais que provoque redução substancial de velocidades dos veículos pesados, mas sem obrigá-los a manter velocidades de arrasto por tempo significativo. Normalmente inclui rampas entre 2% e 4%;
- Terreno Montanhoso: Qualquer combinação de alinhamentos horizontais e verticais que obrigue os veículos pesados a operar com velocidades de arrasto por distâncias significativas e a intervalos frequentes. Normalmente inclui rampas acima de 4%.

A variável tipo de terreno indica a natureza do terreno – plano, ondulado ou montanhoso – no trecho em análise.

3.4.4 Greide

Greide é a linha gráfica que acompanha o perfil do terreno, sendo dotada de uma determinada inclinação. De acordo com a NBR 9050 (2004), a inclinação das rampas deve ser calculada segundo a Equação 4.10:

$$i = \frac{h \times 100}{c} \quad 4.10$$

Em que: i = inclinação em porcentagem

h = altura do desnível

c = comprimento da projeção horizontal

3.4.5 Raio de Curva

Raio da curva (R) é o raio do arco do círculo empregado na concordância, normalmente expresso em metros. É um elemento selecionado por ocasião do projeto, de acordo com as características técnicas da rodovia e a topografia da região. Segundo DNER (1999), a relação entre a velocidade desenvolvida na curva e o raio mínimo da curva é definida pela Equação 4.11. Esta relação será utilizada como base para análise das curvas críticas de uma rodovia.

$$R = \frac{V^2}{127 \times (e_{máx} + f_{máx})} \quad 4.11$$

Em que: V = velocidade desenvolvida na curva;

$e_{máx}$ = superelevação máxima na curva;

$f_{máx}$ = fator de atrito máximo na curva.

3.4.6 Volume Médio Diário Anual

O Volume Médio Diário Anual (VMDA) foi obtido a partir dos dados de tráfego pagante nas praças de pedágio da concessionária e dos dados registrados pelos analisadores de tráfego (ATs), distribuídos ao longo da rodovia.

3.4.7 Existência de Interseção

DNIT (2005) define interseção como a área em que duas ou mais vias se unem ou se cruzam, abrangendo todo o espaço destinado a facilitar os movimentos dos veículos que por ela circulam. As interseções são classificadas em duas categorias gerais, conforme os planos em que se realizam os movimentos: interseções em nível e interseções em níveis diferentes.

As interseções constituem elementos de descontinuidade em qualquer rede viária e representam situações críticas que devem ser tratadas de forma especial. O *Institute of Transportation Engineers – ITE* (1999), através do guia *Traffic Engineering Handbook*, cita que as localizações dos acidentes são normalmente identificadas em dois tipos de lugares: pontos (interseções, pontes) e seções onde, para as análises destas, o manual adota comprimentos não menores que 150 m e nem maiores que 4 km.

Abdel-Aty, Wang e Santos (2009) afirmam que as colisões numa interseção podem ocorrer além de seus limites, nas aproximações ou nas saídas das mesmas. PIARC (2003) também afirma que para propósitos de identificação, a dimensão de um nó (interseção) necessita ser estendida além de sua localização física incluindo a zona de influência na qual os acidentes podem estar relacionados ao nó. De acordo com PIARC (2003), os diferentes tipos de rodovias e locais que constituem uma rede viária nunca possuem um mesmo nível de segurança viária. Por exemplo, a frequência de acidentes é, geralmente, maior em interseções de quatro ramos do que em interseções em três ramos, onde existem substancialmente um menor número de conflitos.

3.4.8 Quantidade de Acessos

DNIT (2005) define acesso como interseção de uma rodovia com uma via de ligação a propriedades marginais, de uso particular ou público. A avaliação da quantidade de acessos existentes ao longo do trecho em estudo é importante, pois em um contexto rodoviário os acessos, quando não sinalizados corretamente ou com visibilidade inadequada, aumentam a probabilidade de ocorrência de acidentes entre o tráfego direto (rodovia) e aquele entrando ou saindo dos acessos.

A variável indica a quantidade de acessos no trecho em análise.

3.4.9 Velocidade Operacional

A velocidade de operação refere-se à velocidade utilizada na definição dos parâmetros de projeto da rodovia, e pode variar ao longo da extensão rodoviária.

3.4.10 Sinalização Vertical

A sinalização vertical, através de placas, é um subsistema de sinalização viária, que se utiliza de dispositivos de controle de trânsito, no qual o meio de comunicação (sinal) está na posição vertical, fixado ao lado ou suspenso sobre a pista, transmitido mensagens de caráter permanente e, eventualmente, variáveis, mediante símbolos e/ou legendas pré-reconhecidas e legalmente instituídos. As placas de sinalização têm por fim aumentar a segurança, ajudar a manter o fluxo de tráfego em ordem e fornecer informações aos usuários da via. A variável sinalização vertical indica a sua adequação, cujos critérios

para avaliação de atendimento (ou não) seguem o Manual de Sinalização Rodoviária (DNIT, 2010).

3.4.11 Sinalização Horizontal

A sinalização horizontal é um conjunto de sinais constituídos de linhas, marcações, símbolos ou legendas, em tipos e cores diversos, apostos ao pavimento da via. É a única forma de entendimento de uma mensagem de sinalização de trânsito, para cuja percepção e entendimento, não se torna necessário, ao condutor, desviar sua atenção do leito da via.

A variável sinalização horizontal indica a sua adequação, cujos critérios para avaliação de atendimento (ou não) seguem o Manual de Sinalização Rodoviária (DNIT, 2010).

3.4.12 Largura de Faixa

Faixa de tráfego ou de rolamento é qualquer uma das áreas longitudinais em que a pista pode ser subdividida, sinalizada ou não por marcas viárias longitudinais, que tenham uma largura suficiente para permitir a circulação de veículos automotores.

A variável refere-se à largura da faixa de rolamento (em metros) destinada à circulação veicular.

3.4.13 Largura de Acostamento

Acostamento é a parte da via diferenciada da pista de rolamento destinada à parada ou estacionamento de veículos, em caso de emergência, e à circulação de pedestres e bicicletas, quando não houver local apropriado para esse fim. A variável refere-se à largura desta faixa (em metros) destinada à parada ou estacionamento veicular.

3.4.14 Acidentes

É o número de ocorrências de acidentes de trânsito que consta no banco de dados fornecido pela concessionária da rodovia. Os registros estão organizados por ano e por trechos previamente definidos pelo poder concedente.

Diferentemente das variáveis acima descritas, o número de acidentes não faz parte da lista de variáveis determinantes dos critérios de homogeneidade. O conceito foi aqui colocado, pois é a variável dependente no processo de modelagem de previsão de acidentes.

3.5 Proposição de método de identificação de segmentos homogêneos

Nesta etapa são propostos os critérios para o método de identificação de segmentos homogêneos e a sua aplicação para a dividir em segmentos homogêneos o trecho da rodovia selecionado para estudo.

3.5.1 Critérios do método

A segmentação homogênea tem como premissa o agrupamento de seções longitudinais de via segundo a homogeneidade das variáveis em análise. Os critérios de agrupamento das seções longitudinais, segundo as variáveis determinantes, seguem oito passos descritos adiante:

Passo 1 – Agrupamento em função do tipo de pista (Simples, Dupla ou 3ª faixa);

Passo 2 – Agrupamento pela existência de perímetro urbano, conforme levantamento cadastral;

Passo 3 – Agrupamento das seções com a mesma classificação de tipo de terreno (plano, ondulado ou montanhoso).

Passo 4 – Parte-se do agrupamento do passo anterior. Neste quarto passo são feitas considerações em relação às variáveis Greide, Raio de Curva e VMDA,. Para o Greide utiliza-se a média ponderada em função do cálculo de inclinação. Para Raio de curva adota-se o menor raio entre as curvas existentes no trecho selecionado. Para o VMDA adota-se uma média harmônica dos volumes observados nas seções longitudinais de 500 metros.

Passo 5 – Nesse passo são analisados os locais que existe interseção, seja em nível ou desnível e também a quantidade de acessos existentes. Esses acessos são somados.

Passo 6 – A velocidade operacional é analisada por seções longitudinais, verificando a homogeneidade.

Passo 7 – Caso alguma seção longitudinal possua deficiência na sinalização horizontal e vertical, esta será classificada como “Não atende”.

Passo 8 – O tratamento dos dados de Largura de faixa e de acostamento é feito pela medida de tendência central – moda.

3.5.2 Aplicação do método para divisão em segmentos homogêneos

O processo de identificação de segmentação homogênea é feito em passos sequenciais, partindo-se da divisão inicial em comprimentos de rodovia de 500m. Esta análise por seções longitudinais de 500m deve-se à forma de apresentação do cadastro planialtimétrico do traçado da rodovia de estudo.

Realiza-se o processo de agrupamento das variáveis determinantes seguindo os critérios e passos sequenciais, obedecendo as premissas definidas para o método de identificação de segmentos homogêneos.

3.6 Geração do MPA para estimativa de acidentes

Nesta etapa compreende o processo de geração de modelos de previsão de acidentes – MPA para o trecho da rodovia MG 050 compreendido entre os quilômetros 212,8 e 263,8, dividido em segmentos homogêneos conforme o método apresentado na etapa anterior.

No processo de modelagem foram adotadas duas abordagens: (i) a elaboração de um modelo próprio utilizando a distribuição binomial negativa e (ii) obtenção de um modelo de previsão de acidentes utilizando o manual HSM. Através de técnicas estatísticas foi calibrado um Modelo de Previsão de Acidentes (MPA) com base na distribuição Binomial Negativa para o ano base (2010).

O modelo de previsão de acidentes é obtido a partir das variáveis consideradas significativas, sendo que no processo de calibração do modelo são adotadas duas

metodologias (*Stepwise* e *Best Subsets*) que indicam a inclusão ou exclusão de variáveis afim de se obter as melhores estimativas.

3.7 Análise comparativa dos dados observados e estimados

A análise comparativa é executada em duas etapas. Primeiramente, o modelo gerado para o ano base é aplicado para dois anos subsequentes. Em seguida são realizadas estimativas de acidentes utilizando o método HSM. Por fim são analisados os registros de acidentes *versus* as estimativas de acidentes do MPA desenvolvido neste trabalho *versus* as estimativas do HSM.

O modelo de previsão de acidentes do HSM leva em conta apenas as características geométricas e de tráfego. Os efeitos de fatores que transcendem a geometria da via são considerados indiretamente mediante a aplicação de fatores de calibração. O modelo se destina principalmente aos efeitos das características físicas com algumas limitações (AASHTO, 2010).

3.8 Validação do modelo

A consistência do modelo desenvolvido neste trabalho é testada usando outro trecho da MG-050, selecionado de forma aleatória, afim de evitar tendências. São realizados os procedimentos de divisão de segmentos homogêneos propostos neste trabalho e aplicado o modelo calibrado para o ano base.

O modelo é validado em função do Gráfico *Cure Plot* (que será melhor detalhado em itens posteriores) e das análises de dispersões entre o número de acidentes ocorridos (registrados) e o número de acidentes previstos pelo modelo. A validação do modelo permite verificar a eficácia da divisão de segmentos homogêneos proposta neste trabalho, bem como a robustez do MPA.

4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a aplicação da metodologia de trabalho proposta para a elaboração de um método de divisão de rodovias em segmentos homogêneos. A área de estudo definida para este estudo de caso é delimitada pela Rodovia MG-050. Consta desta seção a descrição das atividades executadas nas cinco primeiras etapas da metodologia e os principais resultados das análises realizadas. As etapas 6, 7 e 8 são tratadas no próximo capítulo.

4.1 Definição e Caracterização da Área de Estudo

Segundo SETOP (2010), a rodovia MG-050 compõe o Corredor de Integração Sudoeste Mineiro/São Paulo com extensão de 372 quilômetros e atende diretamente 50 municípios, que abrigam 7,4% da população do estado e respondem por 7,7% do PIB mineiro. Ela assegura a conexão dos polos localizados na Região Metropolitana de Belo Horizonte com os principais centros de geração e atração de carga do centro-oeste e sudoeste mineiro, além de servir de eixo de integração dessas economias com as zonas paulistas de Ribeirão Preto, Franca e Barretos.

Os municípios diretamente atendidos pela MG-050 são: Alpinópolis, Arcos, Bambuí, Betim, Mateus Leme, Bom Jesus da Penha, Camacho, Capetinga, Capitólio, Carmo do Cajuru, Cássia, Claraval, Cláudio, Conceição do Pará, Córrego Danta, Córrego Fundo, Delfinópolis, Divinópolis, Doresópolis, Esmeraldas, Formiga, Fortaleza de Minas, Ibiraci, Igaratinga, Iguatama, Itamogi, Jacuí, Itapeçerica, Itaú de Minas, Itaúna, Juatuba, Medeiros, Monte Santo de Minas, Nova Serrana, Pains, Passos, Pedra do Indaiá, Perdigão, Pimenta, Piumhi, Pratápolis, Santo Antônio do Monte, São Gonçalo do Pará, São João Batista da Glória, São José da Barra, São Roque de Minas, São Sebastião do Oeste, São Sebastião do Paraíso, São Tomás de Aquino, Tapiraí e Vargem Bonita. A Figura 4-1 e Figura 4-2 a seguir ilustram a rodovia em estudo.



Figura 4-1: Eixo de Concessão da MG-050

Fonte: Nascentes das Gerais (2010)



Figura 4-2: Municípios no eixo de concessão – MG050
 Fonte: ABConcessões (2014)

Em junho de 2007 foi assinado o primeiro contrato de parceria público-privada do país no setor rodoviário entre a Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais (SETOP-MG) e a Concessionária Nascentes das Gerais (CNG). Os intervenientes e anuentes foram o Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER/MG) e a Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemig).

O objeto do contrato é a exploração da Rodovia MG-050 e inclui o trecho de entroncamento da BR-262 (Juatuba) - Itaúna, Divinópolis, Formiga, Piumhi, Passos, São Sebastião do Paraíso, o trecho de entroncamento da MG-050/ Entroncamento BR-265 (da BR-491 do km 0,0 ao km 4,65) e o trecho de São Sebastião do Paraíso até a Divisa MG/SP da Rodovia BR-265. O trecho total sob concessão tem cerca de 372 quilômetros de extensão.

No primeiro ano, a Concessionária fez investimentos para a recuperação funcional da rodovia, que consistiu em dotá-la de condições de conforto e segurança, como previsto nos anexos do edital. A partir do segundo ano, que se iniciou no dia 13 de junho de 2008, a Concessionária passou a ter o direito de cobrar pedágio dos usuários da rodovia. Por se tratar de uma concessão patrocinada, o Estado remunera a Concessionária, por meio de

uma Contraprestação Pecuniária (CP) mensal, que é variável conforme o desempenho da Concessionária.

SETOP (2010) menciona que o trecho da rodovia entre Juatuba e São Sebastião do Paraíso foi concedido à iniciativa privada por meio da Parceria Público Privada (PPP) MG-050, sendo que esta PPP é formada pelas rodovias MG-050, BR-265 e BR-491 e administrada pela Concessionária Nascentes das Gerais. O trecho sob concessão está sendo modernizado por meio da realização de obras de melhoria - duplicações, implementação de terceiras faixas, melhorias de traçado, construção de passagens para pedestre - com a inclusão de sinalizações nas pistas, disponibilização de serviços de apoio aos usuários, inspeções de tráfego, guinchos e outros serviços.

A fim de possibilitar a cobrança de uma tarifa social dos usuários da rodovia MG-050 e, ao mesmo tempo, proporcionar um retorno adequado para o investimento realizado, o DER/MG paga à Concessionária uma Contraprestação Pecuniária (CP), adicionalmente à receita proveniente da tarifa de pedágio cobrada dos usuários. Assim, a PPP para a MG-050 é, portanto, uma Concessão Patrocinada, de acordo com a Lei nº 11.079/04. Segundo o Plano de Negócios apresentado pela Concessionária, em outubro de 2005, o projeto prevê um investimento de R\$ 320 milhões nos primeiros cinco anos de concessão e um investimento total de R\$ 712 milhões ao longo de 25 anos. A Tabela 4-1 apresenta as extensões (comprimento em quilômetros) da rodovia por municípios.

Tabela 4-1 : Extensão das rodovias por município

Municípios	Rodovia	Km Inicial	Km Final	Comprimento (km)
Juatuba	MG-050	57,6	62,4	4,8
Mateus Leme	MG-050	62,4	76,6	14,2
Itaúna	MG-050	76,6	103	26,4
Igaratinga	MG-050	103	105	2
Carmo do Cajuru	MG-050	105	115,7	10,7
São Gonçalo do Pará	MG-050	115,7	116,4	0,7
Carmo do Cajuru	MG-050	116,4	119,2	2,8
Divinópolis	MG-050	119,2	140	20,8
São Sebastião do Oeste	MG-050	140	156,8	16,8
Pedra do Indaiá	MG-050	156,8	184,5	27,7
Formiga	MG-050	184,5	206,5	22
Córrego Fundo	MG-050	206,5	217,2	10,7
Formiga	MG-050	217,2	232,5	15,3
Pains	MG-050	232,5	234,5	2
Pimenta	MG-050	234,5	251,6	17,1
Piumhi	MG-050	251,6	284,7	33,1
Capitólio	MG-050	284,7	315,4	30,7
São João Batista da Glória	MG-050	315,4	326,4	11
Alpinópolis	MG-050	326,4	331,9	5,5
Passos	MG-050	331,9	368,8	36,9
Itaú de Minas	MG-050	368,8	377,7	8,9
Pratápolis	MG-050	377,7	380,1	2,4
Fortaleza de Minas	MG-050	380,1	383,3	3,2
Pratápolis	MG-050	383,3	392,8	9,5
	MG-050	392,8	402,4	9,6
São Sebastião do Paraíso	BR-491	0	4,7	4,7
	BR-265	637,2	659,5	22,3

Fonte: Nascentes das Gerais

Atualmente, o eixo de concessão é dividido em 20 (vinte) segmentos, denominados homogêneos pelo Poder Concedente (DER-MG). Ressalta-se que esta divisão não contempla o conceito de segmento homogêneo considerado na engenharia viária. A divisão foi realizada de forma empírica, sem estudo acadêmico ou técnico, para atender às questões operacionais da concessionária. Assim, essa segmentação atual da rodovia, feita pelo poder concedente, não pode ser considerada homogênea. A Tabela 4-2 ilustra os 20 (vinte) segmentos do eixo de concessão.

Tabela 4-2 : Segmentos da Rodovia pelo poder concedente.

Segmento	Descrição	km Inicial	km Final	Comprimento
1	Entrada BR262/MG - Matheus Leme	57,6	69,4	11,8
2	Matheus Leme - Itaúna	69,4	80,0	10,6
3	Itaúna - Entrada MG-431	80,0	86,5	6,5
4	Travessia Urbana de Itaúna	86,5	92,2	5,7
5	Ribeirão das Gorduras (Itaúna) Divinópolis	92,2	126,0	33,8
6	Travessia Urbana de Divinópolis	126,0	132,0	6,0
7	Divinópolis - São Sebastião do Oeste	132,0	143,7	11,7
8	São Sebastião do Oeste - Entrada MG-164	143,7	164,8	21,1
9	Entrada MG-164 - Córrego Fundo	164,8	212,8	48,0
10	Córrego Fundo - Doresópolis	212,8	263,8	51,0
11	Doresópolis - Capitólio	263,8	293,9	30,2
12	Capitólio - Entrada MG-466	293,9	331,0	37,1
13	Entrada MG-466 - Passos	331,0	354,6	23,6
14	Passos - Fortaleza de Minas	354,6	359,3	4,7
15	Fortaleza de Minas - Itaú de Minas	359,3	369,1	9,8
16	Travessia Urbana Itaú de Minas	369,1	372,1	3,0
17	Cássia - Pratápolis	372,1	387,7	15,6
18	Pratápolis - São Sebastião do Paraíso	387,7	402,0	14,3
19	Travessia Urbana de Sebastião do Paraíso	0,0	4,7	4,7
20	Divisa MG/SP - BR-265	637,2	659,1	21,8

Fonte: Nascentes das Gerais

Para o presente estudo optou-se por utilizar o segmento que possui o maior comprimento. Essa decisão foi tomada considerando que em um trecho longo poder-se-á avaliar com maior assertividade o processo de homogeneidade. Desta forma, selecionou-se o “Segmento 10” que possui aproximadamente 51 km de extensão (km 212,5 ao km 264) e está localizado entre os municípios de Córrego Fundo e Doresópolis.

Para evitar dúvidas quanto ao uso da palavra segmento, o “Segmento 10” será denominado “trecho de estudo”, compreendido entre os km’s 212,5 e 264 da rodovia MG-050. A Figura 4-3 ilustra o trecho em estudo, e mostra os marcos quilométricos (números e símbolos) deste trecho.

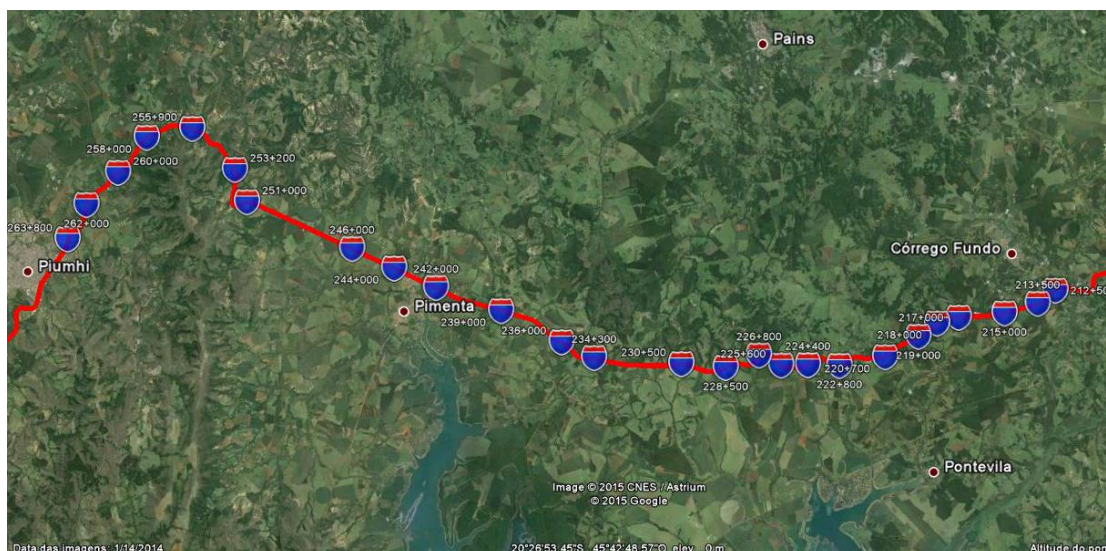


Figura 4-3: Detalhamento do trecho em estudo (Segmento 10)

Fonte: Nascentes das Gerais, 2012

4.2 Obtenção e Análise do Banco de Dados de Acidentes

Os dados de acidentes constituem a base de muitas atividades de segurança viária. Eles são essenciais para o diagnóstico e encaminhamento de soluções para os problemas motivadores dos acidentes. Entre os dados é importante identificar quais as categorias de usuários envolvidas em colisões, as manobras e padrões de comportamento que levam a falhas, e sob que condições ocorrem os acidentes.

Como não é possível realizar uma perícia técnica de todos os acidentes, independentemente de sua gravidade, os bancos de dados convencionais de acidentes ficam limitados as informações básicas e objetivas, que envolvem: localização, momento do acidente, característica do condutor, características do acidente (colisão, abalroamento, tombamento, capotagem, atropelamento, choque com objeto fixo, outro), características dos veículos envolvidos e características das vítimas (DENATRAN, 2000).

De maneira geral, nos municípios brasileiros, o Boletim de Ocorrência (BO) é o documento oficial no qual é feito o registro das informações sobre o acidente de trânsito. O BO é preenchido pela autoridade responsável no momento do acidente e nele consta um conjunto de informações sobre o acidente e as partes envolvidas. Parte destas informações registradas no BO compõe os campos dos bancos de dados de acidentes de trânsito.

As estatísticas de acidentes de trânsito e o estudo de locais onde há uma maior concentração de acidentes são utilizados para o planejamento das ações que buscam a melhoria da segurança viária. As estatísticas permitem analisar a evolução dos acidentes e a eficiência das medidas implantadas, através do acompanhamento destes dados. Para escolher com eficiência as medidas de segurança é importante conhecer e analisar de forma integrada os fatores que atuam sobre o sistema viário e que interagem nos acidentes de trânsito (MANTOVANNI, 2004).

No que diz respeito à Concessionária Nascentes das Gerais, ao ocorrer um acidente, uma equipe de apoio é acionada para ir ao local prestar os primeiros atendimentos e fazer o registro do ocorrido. Em alguns casos, o boletim de ocorrência é realizado pela própria Polícia Rodoviária Federal (PRF). Esses dados são armazenados em um banco de dados interno da Concessionária para análises posteriores no que tange a qualidade de operação.

As variáveis que compõem o registro de acidente, tanto da Polícia Rodoviária Federal quanto da Concessionária Nascentes das Gerais são:

- Número da Ocorrência – É o número de registro da ocorrência adotado pela Concessionária;
- Data da Ocorrência – A data exata que ocorreu o acidente;
- Tipo de Ocorrência – Classifica o acidente em com ou sem vítima;
- Número do BO (PRF) – Número do registro do BO da Polícia;
- Tipo de Acidente – Classificação do tipo de acidente conforme DNIT. Ex.: Colisão Traseira, Colisão Transversal etc.;
- Origem – Quem registrou a ocorrência (Polícia ou Concessionária);
- Hora – Registro da hora de ocorrência do acidente;
- Km + Metros – Registro da referência do local em km e metros onde ocorreu o acidente;
- Sentido da Colisão – Sentido Norte, Sul, Leste ou Oeste;
- Rodovia – Rodovia onde ocorreu o acidente;
- Veículo – Modelo do veículo do acidente;
- Número de Veículos – Quantidade de veículos envolvidos no acidente;

- Fatal – Quando a vítima falece em razão dos ferimentos recebidos no local do acidente, ou depois de socorrida no período até a conclusão do boletim de ocorrência;
- Grave – Quando a vítima sofre lesões graves que exigem tratamento médico mais prolongado, por exemplo: ferimentos cranianos, fraturas em geral, cortes profundos, lacerações de grande extensão etc.;
- Leve – Quando a vítima sofre ferimentos leves, em geral superficiais, que não exigem tratamento médico prolongado;
- Ileso – Quando a vítima não sofre qualquer tipo de ferimento aparente, nem apresenta sintomas ou queixas de lesões internas. Este tipo de acidente reflete apenas “Danos materiais sem vítimas”;
- Animais – Tipo de animal envolvido no acidente;
- Providência com Animais – Tipo de providência tomada para o animal envolvido.

O banco de dados utilizado neste trabalho, contendo as informações disponibilizadas pela Concessionária, encontra-se no Apêndice A.

Chagas *et al.* (2010) mencionam que as deficiências das bases de dados disponíveis sobre acidentes viários não é uma realidade apenas brasileira. Uma análise realizada pelo Conselho Europeu de Segurança Rodoviária (ETSC, 2001) identificou que nenhum banco de dados de acidente sozinho poderia satisfazer todas as necessidades de informação, fornecendo dados mais aprofundados necessários para uma redução eficiente dos acidentes. Para o presente trabalho isso também foi identificado. Infelizmente alguns dados não estavam consistentes e, de certa forma, impactou na avaliação das causas reais dos acidentes, bem como, a localização exata do ocorrido. Foram utilizadas séries históricas de três anos como mostrado na Figura 4-4.

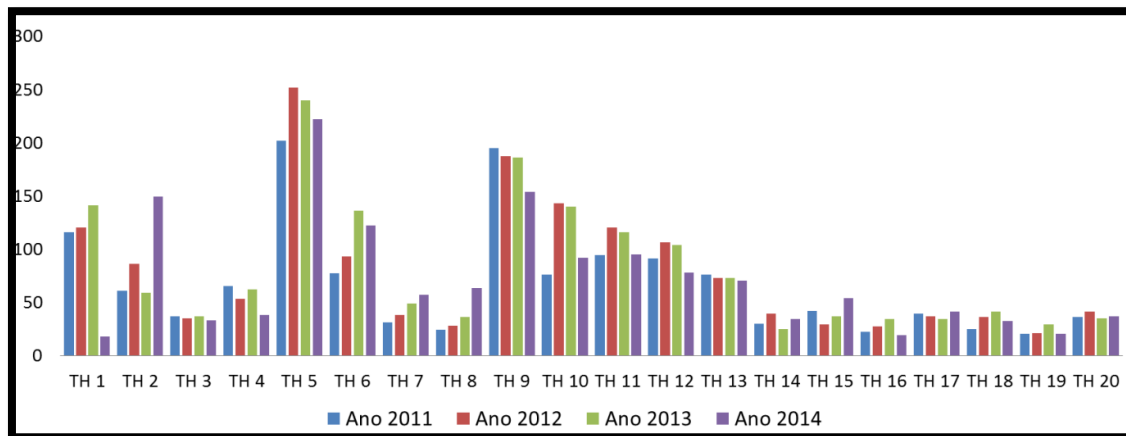


Figura 4-4: Série histórica de acidentes por trechos

Fonte: Nascentes das Gerais, 2014

Os trechos 1, 5, 9, 10 e 11 apresentam uma maior ocorrência de acidentes. Na análise da frequência acumulada, verifica-se que cerca de 60% dos acidentes ocorrem entre os trechos 1 e 9.

Segundo Ferraz *et al.* (2012), na avaliação da segurança viária são importantes o número absoluto de acidentes, de feridos e de mortos e os índices (taxas) que relacionam esses valores com outros parâmetros (população, frota de veículos, volume de tráfego, extensão da via, quantidade de transporte expressa em veículos–quilômetro ou passageiros–quilômetro etc.). Os índices possibilitam comparar de maneira apropriada a accidentalidade viária entre locais distintos com características similares, bem como com outras causas de ferimentos e mortes, como doenças, homicídios etc.

Conforme DNIT (2009), este método consiste no cálculo da probabilidade de ocorrência de um acidente em um determinado segmento, tendo como base para comparação, uma amostra estudada. Se a probabilidade de ocorrência de acidentes de um segmento for maior do que a probabilidade de ocorrência da amostra, o segmento é considerado crítico.

Para isso, efetua-se um teste de hipóteses com as seguintes variáveis: (Equações 4.1 e 4.2)

- λ : Probabilidade de ocorrência de um acidente na amostra A durante um intervalo de tempo Δt .
- P_s : Probabilidade de ocorrência de um acidente no segmento s, durante um intervalo de tempo Δt .

$$H_0: P_s \leq \lambda \quad 4.1$$

$$H1: P_s > \lambda \quad 4.2$$

Tem-se que H_0 é aceita ou não em função da denominada razão crítica ($r_{1-\alpha}$). A fórmula de avaliação é dada pela Equação 4.3

$$r_{1-\alpha} = \lambda + k_{1-\alpha} \sqrt{\frac{\lambda}{m} - \frac{0,5}{m}} \quad 4.3$$

Em que: $m = 365 \times VDMA \times E_j \times 10^{-6}$

DNIT (2009) menciona ainda que a razão crítica é embasada no nível de significância (α), representada pelo coeficiente k , que por sua vez indica o valor da probabilidade tolerável de incorrer do erro de rejeitar H_0 , quando H_0 é verdadeira. Para um nível de significância de 5,0%, o valor de k é 1,645.

As equações 4.4 e 4.5 traduzem a classificação de crítico e não crítico:

$$\frac{\text{Número de acidentes observados em } s}{m} > r_{1-\alpha} = \text{Rejeita } H_0 = \text{Crítico} \quad 4.4$$

$$\frac{\text{Número de acidentes observados em } s}{m} < r_{1-\alpha} = \text{Não Rejeita } H_0 = \text{Não Crítico} \quad 4.5$$

O valor m representa o volume médio diário VMDA do segmento analisado.

DNIT (2009) mostra que a identificação dos segmentos críticos deverá ser realizada de acordo com os seguintes procedimentos:

- Cálculo do índice de acidentes do segmento j (I_j): O índice de acidentes relativo ao segmento j , referido a um volume diário médio anual é dado pela Equação 4.6:

$$I_j = \frac{10^6 \times N_j}{365 (VDMA)_j E_j} \quad 4.6$$

Em que: N_j = número anual de acidentes ocorridos no segmento j ;

E_j = extensão associada ao segmento j ;

$VDMA_j$ = volume diário médio anual observado no segmento j .

- **Cálculo do índice crítico anual de referência para um grupo de segmentos de mesma classe (λ_c):** Os segmentos que possuam a mesma classificação (urbano,

rural, etc.) são agrupados de forma a criar trechos que possam ter um índice crítico anual de referência (λ_c). A Equação 4.7 apresenta o cálculo de λ_c .

$$\lambda_c = \frac{\sum_j N_j \times 10^6}{365 \times \sum_j (VDMA_j E_j)} \quad 4.7$$

- **Índice crítico anual de um segmento j de classe c (ICj):** Define-se, para um segmento j, um índice crítico de acidentes, conforme a Equação 4.8.

$$IC_j = \lambda_c + k \sqrt{\frac{\lambda}{m_j}} - \frac{0,5}{m_j} \quad 4.8$$

Em que:

$$m_j = 365 \times VDMA_j \times E_j \times 10^{-6}$$

- **Identificação se o segmento é crítico:** Os segmentos que tiverem, individualmente, seus índices anuais de acidentes maiores que seus respectivos índices anuais críticos serão considerados como segmentos críticos, conforme a desigualdade apresentada na Equação 4.9:

$$I_j \geq IC_j \quad 4.9$$

Em uma avaliação do Índice Crítico que considera a relação entre volume de tráfego e ocorrência de acidentes, foi possível obter a Figura 4-5 que ilustra, por exemplo, um aumento significativo do Índice Crítico de 2012 em relação aos demais anos para o trecho em estudo (Segmento 10). Fato a destacar é que, apesar do maior número de acidentes ocorrer no trecho 5, a criticidade do trecho em estudo é maior.

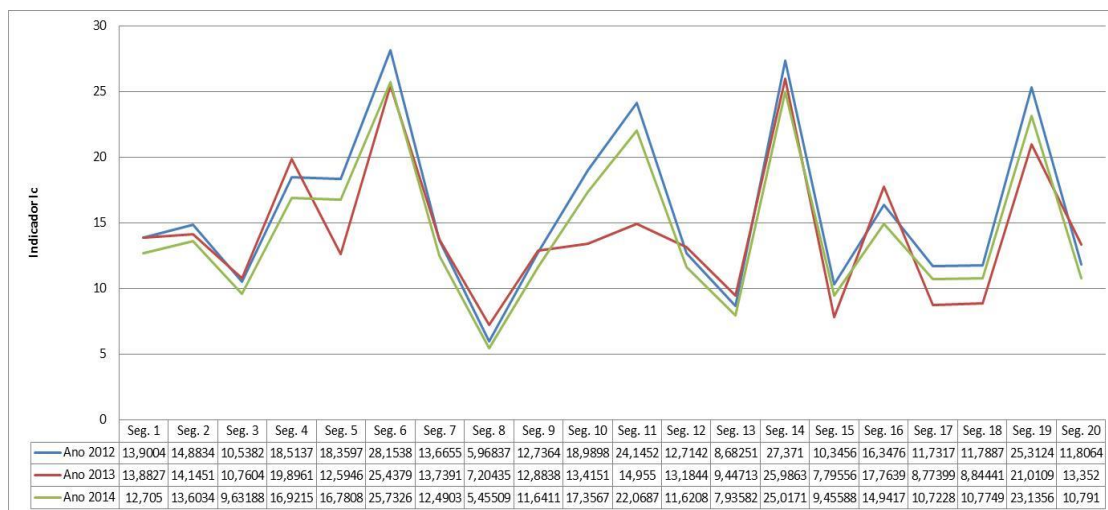


Figura 4-5: Série Histórica de Índice Crítico

4.3 Obtenção de Informações Cadastrais e Dados de Tráfego da Rodovia

Para a análise do trecho de 51 km foram utilizados os dados planialtimétricos da Rodovia MG-050 disponíveis em formato compatível com o *software* AutoCad. Nesse levantamento encontram-se as informações básicas relativas às características físicas e operacionais da rodovia como greide e raio de curva. Além disso, foram disponibilizadas, através do arquivo em AutoCad, informações relativas à sinalização horizontal e vertical da rodovia. Isso é de grande importância para o processo de modelagem que será explanado em itens posteriores.

Ressalta-se que o levantamento planialtimétrico foi construído em pranchas (AutoCad) com seções longitudinais de 500 metros, comprimento compatível com o tamanho do formato adotado. A Figura 4-6 apresenta um exemplo do levantamento cadastral da MG-050, com a planta do traçado da rodovia compreendido entre as estacas 215 e 216.

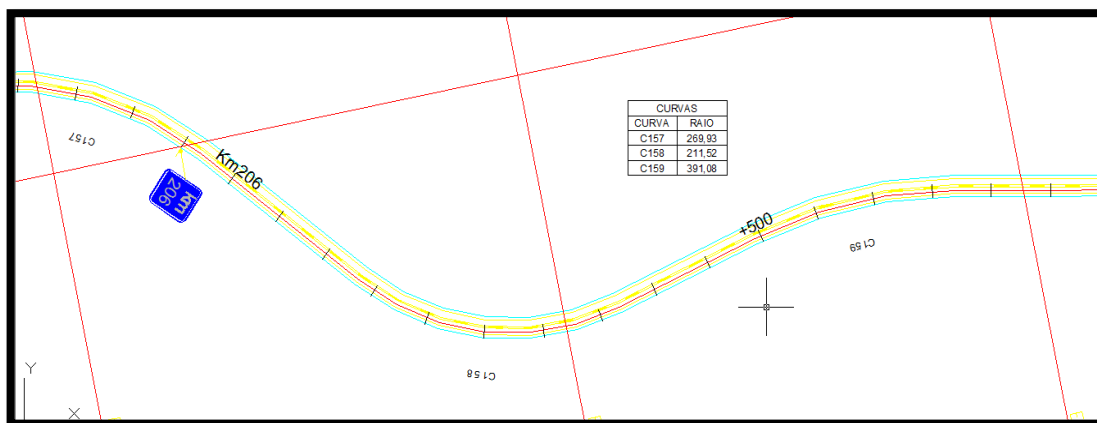


Figura 4-6 : Planta da rodovia MG-050- estacas 215 e 216

Fonte: Nascentes das Gerais, 2014

Neste estudo de caso, referente ao trecho da rodovia (km 212,5 ao km 264) utilizou-se uma base de dados de três anos consecutivos (2010, 2011 e 2012). Existem, ao todo, seis praças de pedágio ao longo do eixo de concessão da Nascentes das Gerais. A área de estudo está localizada entre as praças de pedágio 3 e 4. Os dados das praças de pedágio são de 24 horas ao longo de todo o ano.

Por outro lado, os dados dos analisadores de tráfego são obtidos apenas quando estão em funcionamento. Esse equipamento pode fornecer dados por hora, durante todo o ano, referente aos dois sentidos da pista. Os dados dos ATs são segregados em Auto (Automóvel), Moto, Ônibus e Caminhão, ou seja, a classificação é realizada de forma simplificada e nas praças de pedágio as informações são detalhadas em Auto (Automóvel), Moto, Ônibus e Caminhão (de 2 eixos a 5 eixos). A Figura 4-7 apresenta a localização das praças de pedágio e a Figura 4-8 a localização dos analisadores de tráfego ao longo da rodovia.

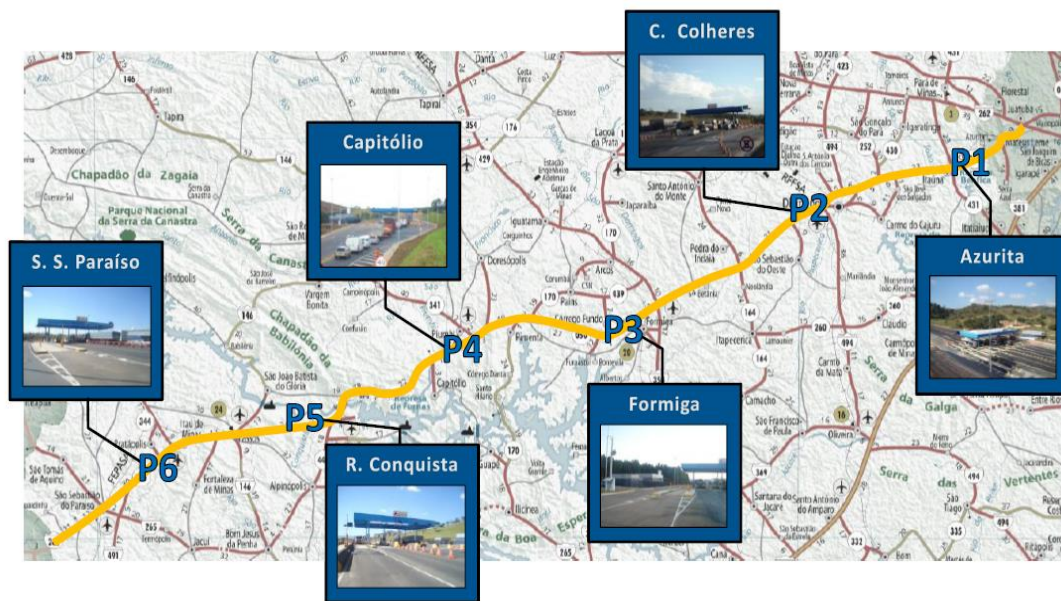


Figura 4-7 : Praças de Pedágio
 Fonte: Barbosa (2013)

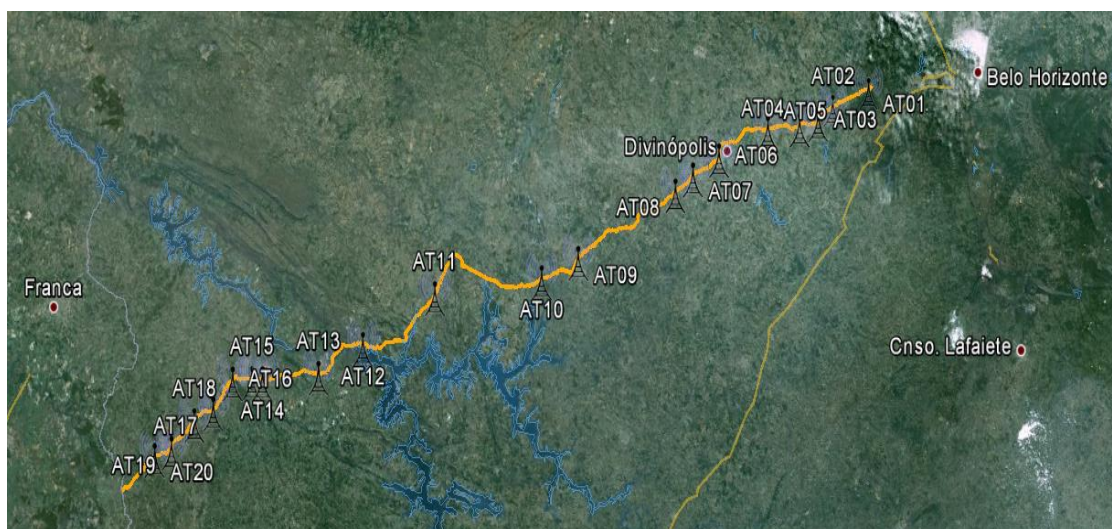


Figura 4-8 : Localização dos Analisadores de Tráfego – AT
 Fonte: Nascentes das Gerais, 2012

4.4 Aplicação do Método de Identificação de Segmentos Homogêneos

O processo de identificação de segmentação homogênea é feito em passos sequenciais, partindo-se da divisão inicial em comprimentos de rodovia de 500m. Esta análise por seções longitudinais de 500m deve-se à forma de apresentação do cadastro planialtimétrico do traçado da rodovia. Os agrupamentos conforme as variáveis definidas no item 4.4, são feitos tendo como referência estas seções longitudinais com comprimento constante, igual a 500m. Isto não implica, a priori, em uma homogeneidade em relação à

extensão, pois o primeiro subtrecho poderá ter 500 metros, mas o segundo poderá, por exemplo, ser composto pelo agrupamento de três seções longitudinais, que apresentem homogeneidade em relação à variável em análise, e resultar em um comprimento de 1,5 km. Os passos sequenciais estão detalhados nos itens seguintes.

4.4.1 Tipo de Pista

Conforme mencionado no HSM, o tipo de pista tem papel preponderante no processo de divisão de segmentos homogêneos. Neste trabalho esta variável também foi obtida através do levantamento cadastral da rodovia onde foram coletadas informações de intervenções de grande porte junto à Concessionária Nascentes das Gerais, dos três anos (2010, 2011 e 2012) de análise.

Como a segmentação da rodovia é um processo contratual, mesmo se ocorresse uma alteração de pista simples para pista dupla, a concessionária não faria alteração em sua segmentação inicial. Importante salientar que o trecho em estudo é constituído em sua totalidade por “Pista Simples”.

Caso fosse diagnosticada alguma alteração no tipo de pista, de simples para Pista Dupla ou a implantação de 3ª faixa, esta variável se tornaria a *primeira* a ser considerada no método de segmentação proposto. A Tabela 4-3 apresenta uma parte do banco de dados utilizada, que compreende o km 212,5 até o km 222,5. A Tabela completa encontra-se no Apêndice A.

Tabela 4-3 : Tipo de pista do trecho em estudo

km Inicial	km Final	Tipo de Pista 2010	Tipo de Pista 2011	Tipo de Pista 2012
212,5	213	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
213	213,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
213,5	214	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
214	214,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
214,5	215	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
215	215,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
215,5	216	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
216	216,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
216,5	217	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
217	217,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
217,5	218	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
218	218,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
218,5	219	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
219	219,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
219,5	220	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
220	220,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
220,5	221	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
221	221,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
221,5	222	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples
222	222,5	Pista Simples	Pista Simples	Pista Simples

Fonte: Nascentes das Gerais

4.4.2 Perímetro Urbano

Conforme mencionado em itens anteriores, a existência ou não de perímetro urbano foi a segunda análise no processo de agrupamento de subtrechos. Ao longo do segmento avaliado foram identificados os pontos com existência de perímetro urbano. A justificativa para essa escolha é que em locais com perímetro urbano há uma maior incidência de acidentes, principalmente de colisão transversal, lateral, traseira e atropelamentos. A Tabela 4-4 apresenta uma parte do banco de dados utilizada para a análise da homogeneidade segundo a existência de perímetro urbano, que corresponde ao trecho do km 212,5 ao km 223,5. A Tabela completa encontra-se no Apêndice A.

Tabela 4-4 : Agrupamento por Perímetro Urbano

km Inicial	km Final	Perímetro Urbano
212,5	213	Não
213	213,5	Não
213,5	214	Não
214	214,5	Não
214,5	215	Não
215	215,5	Não
215,5	216	Não
216	216,5	Não
216,5	217	Não
217	217,5	Não
217,5	218	Não
218	218,5	Não
218,5	219	Não
219	219,5	Não
219,5	220	Não
220	220,5	Não
220,5	221	Não
221	221,5	Não
221,5	222	Não
222	222,5	Não

Ainda com relação à variável “Perímetro Urbano”, caso o processo de agrupamento apresente alguma das observações com a informação “sim”, deve-se considerar esta configuração no agrupamento. Isto se justifica uma vez que o maior percentual de acidentes em rodovias tende a localizar-se em perímetros urbanos e interseções, ou seja, trata-se de uma informação de grande importância.

4.4.3 Tipo de Terreno

Após a avaliação da existência ou não de Perímetro urbano ao longo da rodovia, a terceira variável a ser analisada é o “Tipo de Terreno”. Essa ordem se justifica, pois, o tipo de terreno é fator de grande influência em diversos estudos de tráfego rodoviário como, por exemplo, nível de serviço, alocação de praças de pedágio, implantação de obras de arte, dentre outros.

Nesta etapa foram agrupados os elementos da variável “Tipos de Terreno” conforme as categorias plano, ondulado e montanhoso já explanadas anteriormente. A Tabela 4-5 ilustra os possíveis agrupamentos (em amarelo) correspondentes ao trecho do km 212,5

ao km 223,5. A tabela completa encontra-se no Apêndice A. A marcação em amarelo apresenta as possibilidades de realizar o agrupamento para esta variável.

Tabela 4-5 : Agrupamento por Tipo de Terreno

km Inicial	km Final	Tipo de Terreno
212,5	213	Ondulado
213	213,5	Montanhoso
213,5	214	Ondulado
214	214,5	Ondulado
214,5	215	Plano
215	215,5	Montanhoso
215,5	216	Plano
216	216,5	Montanhoso
216,5	217	Montanhoso
217	217,5	Ondulado
217,5	218	Montanhoso
218	218,5	Montanhoso
218,5	219	Montanhoso
219	219,5	Montanhoso
219,5	220	Ondulado
220	220,5	Montanhoso
220,5	221	Montanhoso
221	221,5	Montanhoso
221,5	222	Ondulado
222	222,5	Plano
222,5	223	Montanhoso
223	223,5	Ondulado

Esse agrupamento reduziu aproximadamente 44% do número de observações em relação ao banco de dados inicial de 104 observações considerando a segmentação da concessionária em seções de 500 metros. Após o agrupamento pela variável Tipo de Terreno, o próximo passo foi equalizar as informações constantes das outras variáveis.

4.4.4 Greide

Os valores referentes à inclinação ou greide foram obtidos em função das informações apresentadas no levantamento planialtimétrico da rodovia MG-050. Uma seção longitudinal (500m) pode conter mais de um “Greide”. Neste caso, para encontrar o valor da inclinação é feito um cálculo ponderando a extensão em função da inclinação de cada ponto específico. A Tabela 4-6 demonstra um exemplo de cálculo para o trecho – km 212,5 ao km 214,5 com as respectivas inclinações de rampa: 5,26% e 2,44% e ponto de inflexão no km 62,75.

Tabela 4-6 : Cálculo de Greide Ponderado

<p><i>Toma-se os trechos a ser calculado e realiza-se a subtração para encontrar o comprimento do trecho.</i></p> <p>km 212,5 – km 214 = 1,5 km km 214,5 – km 214 = 0,5 km</p>
<p><i>Multiplica-se as estimativas de comprimento com o respectivo Greide (inclinação)</i></p> <p>1,5 x 5,26 = 7,89 0,5 x 2,44 = 1,22</p>
<p><i>Somam-se as respectivas estimativas encontradas</i></p> <p>1,5 + 0,5 = 2 7,89 + 1,22 = 9,11</p>
<p><i>Divide a estimativa final pela inicial</i></p> <p>9,11 / 2 = 4,56</p>

A Tabela 4-7 apresenta uma parte do banco de dados utilizado, que corresponde ao trecho do km 212,5 ao km 223,5. A marcação em vermelho indica o tratamento dos valores do greide para os agrupamentos realizados. A Tabela completa encontra-se no Apêndice A.

Tabela 4-7 : Agrupamento por Greide

km Inicial	km Final	Greide
212,5	213	3,6615
213	213,5	5,016
213,5	214,5	3,068
214,5	215	1,923
215	215,5	-6,115
215,5	216	-1,758
216	217	4,944
217	217,5	3,747
217,5	219,5	4,992
219,5	220	-2,842
220	221,5	-6,04
221,5	222	2,564
222	222,5	0,912
222,5	223	5,233
223	223,5	-3,063

Ressalta-se que a variável greide é primeiramente analisada para a classificação do tipo de terreno, conforme definido no item 4.4.3: terreno plano (inclui rampas de até 2% de greide), terreno ondulado (rampas entre 2% e 4%) ou terreno montanhoso (acima de 4%). Desta forma, neste quarto passo do método é feito o tratamento dos valores dos greides encontrados no segmento homogêneo em análise, como no exemplo da Tabela 4-6. A variável é preponderante para divisão homogênea pelo Tipo de Terreno.

4.4.5 Raio de Curva

A partir da Equação 11 que relaciona a velocidade desenvolvida na curva e o raio mínimo da curva, foi gerada a Tabela 4-8 na qual é apresentada o raio mínimo em função da velocidade, da superelevação e do fator de atrito do pavimento. A superelevação foi considerada 6% para a rodovia que, segundo DNIT (1999), é indicada em projetos condicionados por urbanização adjacente e frequentes interseções que provocam redução da velocidade média. Por fim, o fator de atrito foi obtido no Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNER, 1999).

Tabela 4-8 : Raio mínimo de curva

Velocidade	e_{\max}	f_{\max}	Raio
30	0,06	0,18	30,81
40	0,06	0,16	59,99
50	0,06	0,14	103,61
60	0,06	0,14	149,19
70	0,06	0,14	203,07
80	0,06	0,13	279,97
90	0,06	0,13	354,33
100	0,06	0,12	463,18
110	0,06	0,11	595,47

Pela Tabela 4-8, nos trechos onde a rodovia possui a velocidade de 80 km/h, para segurança viária não se deve ter curvas com raios menores que 279,97 metros. Caso as condições apresentadas acima não sejam atendidas, haverá a necessidade de uma maior redução de velocidade nas curvas para garantia de segurança na passagem dos veículos.

Caso sejam identificadas mais de uma informação no processo de agrupamento toma-se como premissa a utilização do menor valor. Essa medida se justifica, pois, um raio menor aumenta a probabilidade de acidentes, caso não haja o devido tratamento da via. A Tabela 4-9 apresenta uma parte do banco de dados utilizada, que corresponde ao trecho do km 212,5 ao km 223,5. As linhas vermelhas na Tabela mostram os agrupamentos com tratamento dos valores do raio de curva. A Tabela completa encontra-se no Apêndice A.

Tabela 4-9 : Agrupamento por Raio de Curva

km Inicial	km Final	Raio de Curva
212,5	213	599,25
213	213,5	1203,72
213,5	214,5	0
214,5	215	0
215	215,5	1280,99
215,5	216	0
216	217	245,43
217	217,5	0
217,5	219,5	702,63
219,5	220	0
220	221,5	250,67
221,5	222	266,41
222	222,5	509,48
222,5	223	0
223	223,5	433,92

Importante mencionar que, neste estudo de caso, não foi possível fazer uma nova divisão homogênea em função do raio de curva, pois as características das curvas dos segmentos não apresentam variabilidade. Caso alguma observação apresente variação no raio de curva, seria gerado outro segmento homogêneo.

4.4.6 Volume Médio Diário Anual (VMDA)

Os dados referentes ao VMDA foram obtidos através das praças de pedágio e dos analisadores de tráfego (AT). No trecho avaliado verificou-se um incremento no volume de aproximadamente 4% do ano de 2010 para 2011, e aproximadamente 9% de 2011 para 2012. Isso pode ser explicado pelo crescimento econômico da região que, nesse período, apresentou várias instalações de novas indústrias e empresas de médio porte.

Para o caso específico deste estudo de caso, o tratamento da variável “Volume” utilizou a média geométrica. Na matemática, a média geométrica é um tipo de média ou aproximação que indica a tendência central ou valor típico de um conjunto de números usando o produto dos seus valores. A média geométrica, definida como n-ésima raiz da multiplicação dos termos, é frequentemente utilizada para comparar diferentes itens encontrando uma única "figura representativa" para esses itens – quando cada um desses

itens possuem múltiplas propriedades que possuem diferentes alcances numéricos. A fórmula da média geométrica é apresentada na Equação 4.12 a seguir.

$$\bar{X} = \sqrt[n]{a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n} \quad 4.12$$

A Tabela 4-10 apresenta uma parte do banco de dados utilizada, que corresponde ao trecho do km 212,5 ao km 223,5. As linhas marcadas em vermelho estão associadas ao cálculo da média geométrica dos volumes. A Tabela completa encontra-se no Apêndice A.

Tabela 4-10 : Tratamento por Volume de tráfego.

km Inicial	km Final	Volume de tráfego		
		2010	2011	2012
212,5	213	2557	2698	2846
213	213,5	2592	2735	2885
213,5	214,5	2545	2685	2833
214,5	215	2523	2662	2808
215	215,5	2599	2742	2893
215,5	216	2542	2682	2830
216	217	2534	2673	2820
217	217,5	2570	2711	2860
217,5	219,5	2569	2710	2859
219,5	220	2567	2708	2857
220	221,5	2597	2740	2891
221,5	222	2532	2671	2818
222	222,5	2550	2690	2838
222,5	223	2572	2713	2862
223	223,5	2516	2654	2800

A variável VMDA, no contexto deste estudo de caso, não foi utilizada na divisão de segmento homogêneo, mas sim no tratamento dos dados através de média geométrica. Isso por que a referida variável apresenta volumes homogêneos em função da forma como foi obtida (Vide Tabela 4-10). Caso os volumes apresentassem variação maior ou igual a 8% seria necessário dividir em segmentos homogêneos. Esse valor de 8% pode ser explicado em função de ser um percentual que pode apresentar diferença mais perceptível nos volumes que serão trabalhados. Por exemplo, tomando o segmento agrupado do km 217,5 ao km 219,5 verifica-se a condição atual mostrada na Tabela 4-11.

Tabela 4-11 : Condição Atual

km Inicial	km Final	Tipo de Pista	Perímetro Urbano	Terreno	Volume de tráfego		
					2010	2011	2012
217,5	218	Simples	Não	Montanhoso	2560	2709	2846
218	218,5	Simples	Não	Montanhoso	2548	2716	2851
218,5	219	Simples	Não	Montanhoso	2593	2710	2868
219	219,5	Simples	Não	Montanhoso	2576	2706	2872

Em um cenário hipotético, supõem-se uma variação de 8% no volume do km 219 ao km 219,5 que resultaria na condição mostrada na Tabela 4-12.

Tabela 4-12 : Condição Hipotética

km Inicial	km Final	Tipo de Pista	Perímetro Urbano	Terreno	Volume de tráfego		
					2010	2011	2012
217,5	218	Simples	Não	Montanhoso	2560	2709	2846
218	218,5	Simples	Não	Montanhoso	2548	2716	2851
218,5	219	Simples	Não	Montanhoso	2593	2710	2868
219	219,5	Simples	Não	Montanhoso	2369	2489	2642

Nas condições hipotéticas ilustradas na Tabela 4-12, haveriam dois segmentos homogêneos: o primeiro do km 217,5 ao km 219 e outro do km 219 ao 219,5.

4.4.7 Interseção

Uma avaliação importante no processo de divisão de segmento homogêneo está ligada à existência ou não de interseção, conforme anteriormente mencionado. O agrupamento para essa variável ocorre em função das informações relativas ao tipo de interseção existente no trecho em análise.

A Tabela 4-13 apresenta uma parte do banco de dados utilizada, que corresponde ao trecho do km 212,5 ao km 223,5. A Tabela completa encontra-se no Apêndice A.

Tabela 4-13 : Agrupamento por Existência de Interseção

km Inicial	km Final	Existe Interseção ?
212,5	213	Não
213	213,5	Não
213,5	214,5	Não
214,5	215	Não
215	215,5	Não
215,5	216	Não
216	217	Interseção em Gota Furnas
217	217,5	Não
217,5	219,5	Não
219,5	220	Não
220	221,5	Não
221,5	222	Não
222	222,5	Não
222,5	223	Não
223	223,5	Não

De forma análoga à variável “Perímetro Urbano”, no caso da existência de interseção em uma seção longitudinal (500m), no trecho homogêneo onde a interseção estiver localizada, será adotada essa configuração.

4.4.8 Acessos

A avaliação da quantidade de acessos existentes ao longo do trecho em estudo é importante, pois em um contexto de rodovia, os acessos, quando não sinalizados corretamente ou com visibilidade inadequada aumentam a probabilidade de ocorrência de acidentes. Segundo AASHTO (2010), para trechos muito curtos (menores que 800 metros) o uso da densidade de acessos para um segmento individual resulta em um número de acessos superior ao real, uma vez que a densidade de acessos é inversamente proporcional ao comprimento do segmento.

A Tabela 4-14 apresenta uma parte do banco de dados utilizada, que corresponde à análise da quantidade de acessos no trecho do km 212,5 ao km 223,5. A Tabela completa encontra-se em Apêndice A.

Tabela 4-14 : Agrupamento por Acessos

km Inicial	km Final	Quantidade de Acessos
212,5	213	0
213	213,5	0
213,5	214,5	0
214,5	215	0
215	215,5	0
215,5	216	0
216	217	2
217	217,5	0
217,5	219,5	1
219,5	220	0
220	221,5	0
221,5	222	0
222	222,5	0
222,5	223	0
223	223,5	0

De forma análoga à variável “Quantidade de Acessos”, no caso da existência de acesso em uma seção longitudinal (500m), no trecho homogêneo onde a interseção estiver localizada será adotada essa configuração.

4.4.9 Velocidade Operacional

A variável “Velocidade Operacional” foi obtida através do levantamento cadastral da rodovia realizado pela concessionária. Esta variável considera a velocidade adotada no projeto da rodovia. Não foram realizados levantamentos *in loco* das velocidades de percurso, para averiguar o comportamento do motorista no local, sendo este procedimento recomendado na realização de trabalhos futuros.

A Tabela 4-15 apresenta uma parte do banco de dados utilizada, que corresponde à análise da velocidade operacional referente ao trecho do km 212,5 ao km 222,5. A Tabela completa encontra-se em Apêndice A.

Tabela 4-15 : Velocidade Operacional da Rodovia

km Inicial	km Final	Velocidade
212,5	213	80
213	213,5	80
213,5	214	80
214	214,5	80
214,5	215	80
215	215,5	80
215,5	216	80
216	216,5	80
216,5	217	60
217	217,5	60
217,5	218	80
218	218,5	80
218,5	219	80
219	219,5	80
219,5	220	60
220	220,5	60
220,5	221	60
221	221,5	60
221,5	222	60
222	222,5	60

Fonte: Nascentes das Gerais

Para a referida variável, foi proposta a adoção do maior valor de velocidade, como medida de segurança para a modelagem a ser realizada. Essa decisão considerou que quanto maior a velocidade, melhor a condição da via para tráfego e também, maior a probabilidade de ocorrência de acidentes. Além disso, sabe-se que a velocidade regulamentada nem sempre é a velocidade de operação (maior velocidade de percurso respeitada as condições de segurança). Neste caso, adotar a maior velocidade pode refletir esse tipo de efeito.

Importante salientar que uma mudança significativa na velocidade da rodovia pode estar relacionada à existência de perímetro urbano. Caso fosse registrada alguma alteração significativa de velocidade, por exemplo de 80 km/h para 40 km/h, seria necessário realizar a segregação em função dessa variável. Ressalta-se que condições sazonais, como obras na rodovia, não são motivos de segregação, uma vez que este evento não é permanente.

4.4.10 Sinalização Vertical e Horizontal

A sinalização vertical e horizontal foi avaliada considerando o projeto da rodovia segundo os critérios do Manual de Sinalização Rodoviária (DNIT, 2010). Para cada 500 metros de rodovia foram avaliados os usos e aplicação das placas e marcações horizontais no pavimento existentes em função das características físicas e operacionais da via.

A Tabela 4-16 apresenta uma parte do banco de dados utilizada, que corresponde à análise segundo as condições da sinalização vertical e horizontal para o trecho do km 212,5 ao km 223,5. A Tabela completa encontra-se em Apêndice A.

Tabela 4-16 : Agrupamento por condições da Sinalização Horizontal e Vertical

km Inicial	km Final	Sinalização Adequada?
212,5	213	Sim
213	213,5	Sim
213,5	214,5	Sim
214,5	215	Sim
215	215,5	Sim
215,5	216	Sim
216	217	Sim
217	217,5	Sim
217,5	219,5	Não
219,5	220	Não
220	221,5	Sim
221,5	222	Não
222	222,5	Sim
222,5	223	Sim
223	223,5	Sim

A variável “Sinalização” em uma rodovia é de extrema importância como medida efetiva para a redução de acidentes. Neste caso, se no processo de agrupamento fosse identificada deficiência na sinalização, toda a extensão do agrupamento seria avaliada como “não atende” às exigências.

4.4.11 Largura de Faixa de Rolamento e de Acostamento

Os dados referentes à Largura de Faixa de Rolamento e de Acostamento também foram extraídos do levantamento planialtimétrico da rodovia de estudo. Salienta-se que, assim como no contexto do tipo de pista, as larguras também foram monitoradas ao longo dos três anos de análise. Para as variáveis “Largura de Faixa” e “Largura de Acostamento”

utilizou-se como premissa o conceito estatístico de medida de tendência central – moda – que é o valor que detém o maior número de observações identificadas.

A Tabela 4-17 apresenta uma parte do banco de dados utilizada, que corresponde à análise das variáveis largura de faixa e de acostamento, no trecho do km 212,5 ao km 223,5. A Tabela completa encontra-se em Apêndice A.

Tabela 4-17 : Agrupamento por Largura de Faixa e de Acostamento

km Inicial	km Final	Largura de Faixa	Largura de Acostamento
212,5	213	3,3	1,5
213	213,5	3,3	1,5
213,5	214,5	3,3	1,5
214,5	215	3,3	1,2
215	215,5	3,3	1,5
215,5	216	3,3	1,5
216	217	3,5	1,5
217	217,5	3,5	1,5
217,5	219,5	3,5	1,5
219,5	220	3,3	1,5
220	221,5	3,3	1,5
221,5	222	3,5	1,5
222	222,5	3,5	1,5
222,5	223	3,5	1,5
223	223,5	3,5	1,5

No caso específico deste trabalho, há uma constância em relação às variáveis Largura de Faixa e Largura de Acostamento. No agrupamento relativo ao acostamento, como o intervalo é muito próximo (em torno de 1,0 a 1,8 metros), considera-se a existência ou ausência de acostamento.

A Largura de faixa, verifica-se que não há muita alteração (geralmente entre 3,3 e 3,5 metros). Assim, tomou-se como premissa que larguras de faixas iguais ou acima de 4 metros são passíveis de realizar agrupamento.

4.4.12 Acidentes

“Acidente” é a variável dependente, ou seja, é aquele fator ou propriedade que é efeito, resultado, consequência ou resposta de algo que foi estimulado, é o efeito observado como resultado da manipulação da variável independente. Ressalta-se que a variável Acidentes não é utilizada no processo de identificação de segmentos homogêneos.

Através do banco de dados de acidentes da rodovia MG-050 foi possível obter, ao longo do período de três anos adotado neste estudo, o número absoluto de acidentes para cada uma das seções longitudinais de 500m de comprimento ao longo do trecho de estudo. Segundo o DNER (1998) os principais acidentes que ocorrem em travessias urbanas são: atropelamento, colisão traseira, abalroamento lateral mesmo sentido, abalroamento transversal.

Conforme Ferraz *et al.* (2012), o registro de acidentes no Brasil ainda é realizado de forma ineficiente e, muitas informações que poderiam ser consideradas importantes são perdidas e, portanto, não contempladas nos estudos de segurança viária. Apesar da possibilidade de deficiências nos registros, neste trabalho foram utilizados os números disponibilizados pela concessionária da MG-050. A Tabela 4-18 apresenta uma parte do banco de dados utilizada referente à ocorrência de acidentes nos anos de 2010, 2011 e 2012, correspondente ao trecho do km 212,5 ao km 222,5. A Tabela completa encontra-se no Apêndice A.

Tabela 4-18: Ocorrência de Acidentes no período de estudo

km Inicial	km Final	Acidentes 2010	Acidentes 2011	Acidentes 2012
212,5	213	0	2	0
213	213,5	2	1	2
213,5	214	0	2	1
214	214,5	1	0	3
214,5	215	0	1	2
215	215,5	1	3	4
215,5	216	0	0	0
216	216,5	2	1	0
216,5	217	0	1	1
217	217,5	0	3	2
217,5	218	0	1	0
218	218,5	1	0	1
218,5	219	0	0	0
219	219,5	1	0	0
219,5	220	0	0	0
220	220,5	0	1	2
220,5	221	0	0	5
221	221,5	0	1	2
221,5	222	0	0	3
222	222,5	0	1	0

Fonte: Nascentes das Gerais

4.5 Segmentos Homogêneos Identificados

Conforme mencionado anteriormente, a primeira análise realizada baseou-se nas informações do levantamento planialtimétrico da Concessionária, dispostas em seções de 500 metros. O trecho em estudo apresenta aproximadamente 51 km de extensão, do km 212,5 inicial ao km 264 final. Conforme mencionado em itens anteriores, esse comprimento de 500 metros foi utilizado em função da segregação já realizada pela Concessionária e, obviamente, essa extensão poderia apresentar outros valores em função do processo de análise de outras rodovias com outras características. Logo, foram obtidos ao todo 104 observações, conforme mostrado na Tabela 4-17.

Tabela 4-19: Segregação em 500 metros do trecho avaliado

km	km	km	km	km	km	km	km	km	km
Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
212,5	213	223	223,5	233,5	234	244	244,5	254,5	255
213	213,5	223,5	224	234	234,5	244,5	245	255	255,5
213,5	214	224	224,5	234,5	235	245	245,5	255,5	256
214	214,5	224,5	225	235	235,5	245,5	246	256	256,5
214,5	215	225	225,5	235,5	236	246	246,5	256,5	257
215	215,5	225,5	226	236	236,5	246,5	247	257	257,5
215,5	216	226	226,5	236,5	237	247	247,5	257,5	258
216	216,5	226,5	227	237	237,5	247,5	248	258	258,5
216,5	217	227	227,5	237,5	238	248	248,5	258,5	259
217	217,5	227,5	228	238	238,5	248,5	249	259	259,5
217,5	218	228	228,5	238,5	239	249	249,5	259,5	260
218	218,5	228,5	229	239	239,5	249,5	250	260	260,5
218,5	219	229	229,5	239,5	240	250	250,5	260,5	261
219	219,5	229,5	230	240	240,5	250,5	251	261	261,5
219,5	220	230	230,5	240,5	241	251	251,5	261,5	262
220	220,5	230,5	231	241	241,5	251,5	252	262	262,5
220,5	221	231	231,5	241,5	242	252	252,5	262,5	263
221	221,5	231,5	232	242	242,5	252,5	253	263	263,5
221,5	222	232	232,5	242,5	243	253	253,5	263,5	264
222	222,5	232,5	233	243	243,5	253,5	254		
222,5	223	233	233,5	243,5	244	254	254,5		

No que diz respeito à variável “Tipo de Terreno”, aplicação do primeiro passo do método, foi possível realizar 17 agrupamentos demonstrados na Tabela 4-20, resultando em uma redução de aproximadamente 44% no número de observações.

Tabela 4-20: Agrupamentos resultantes por tipo de terreno para o trecho em estudo

km Inicial	km Final	Comprimento (km)	Tipo de Terreno
213,5	214,5	1	Ondulado
216	217	1	Montanhoso
217,5	219,5	2	Montanhoso
220	221,5	1,5	Montanhoso
223	224,5	1,5	Montanhoso
225,5	228	2,5	Montanhoso
230	231,5	1,5	Ondulado
232,5	235	2,5	Montanhoso
238	239	1	Ondulado
239	240	1	Montanhoso
240,5	245	4,5	Montanhoso
245,5	246,5	1	Plano
247,5	248,5	1	Montanhoso
250,5	251,5	1	Montanhoso
252	254,5	2,5	Montanhoso
255	258,5	3,5	Montanhoso
260	261	1	Montanhoso
261	262	1	Ondulado
262,5	263,5	1	Montanhoso

Do total de 104 seções de 500 metros (Tabela 4-17) foi possível realizar 20 agrupamentos, resultando em um banco de dados com 58 observações, representando uma redução de aproximadamente 44% no número de observações, em relação ao levantamento inicial.

Como já mencionado, para a variável “Acidentes” foi realizada a soma do número absoluto dos acidentes. A Tabela 4-21 ilustra o procedimento adotado, comparando o cadastro inicial e o banco de dados resultante em função dos agrupamentos realizados conforme aplicação do método de identificação de segmentos homogêneos.

Tabela 4-21 : Tratamento do número de Acidentes em relação aos agrupamentos

Cadastro Inicial				
km Inicial	km Final	Acidentes 2010	Acidentes 2011	Acidentes 2012
213,5	214	0	2	1
214	214,5	1	0	3
Banco de Dados Resultante				
km Inicial	km Final	Acidentes 2010	Acidentes 2011	Acidentes 2012
213,5	214,5	1	2	4

Ressalta-se que outras ponderações poderiam ser adotadas nesse processo de identificação de segmentos homogêneos como índice de obstáculos laterais à direita do sentido de tráfego, presença ou ausência de faixa de acomodação central para conversão à esquerda, dentre outras. Contudo, essas variáveis não foram examinadas neste trabalho, pois não estavam disponíveis durante a sua execução.

A Tabela 4-22 mostra o banco de dados resultante, de forma simplificada destacando apenas o comprimento de cada segmento homogêneo identificado, considerando os agrupamentos mencionados neste capítulo. A Tabela completa encontra-se em Apêndice A. As marcações em vermelho indicam os agrupamentos realizados.

Tabela 4-22 : Banco de Dados Final (Simplificado)

km Inicial	km Final	Comprimento
212,5	213	0,5
213	213,5	0,5
213,5	214,5	1
214,5	215	0,5
215	215,5	0,5
215,5	216	0,5
216	217	1
217	217,5	0,5
217,5	219,5	2
219,5	220	0,5
220	221,5	1,5
221,5	222	0,5
222	222,5	0,5
222,5	223	0,5
223	223,5	0,5
223,5	224,5	1
224,5	225	0,5
225	225,5	0,5
225,5	228	2,5
228	228,5	0,5
228,5	229	0,5
229	229,5	0,5
229,5	230	0,5
230	231,5	1,5
231,5	232	0,5
232	232,5	0,5
232,5	235	2,5
235	235,5	0,5
235,5	236	0,5
236	236,5	0,5
236,5	237	0,5

Tabela 4-23 : Banco de Dados Final (Cont.)

km Inicial	km Final	Comprimento
237	237,5	0,5
237,5	238	0,5
238	239	1
239	240	1
240	240,5	0,5
240,5	245	4,5
245	245,5	0,5
245,5	246,5	1
246,5	247	0,5
247	247,5	0,5
247,5	248,5	1
248,5	249	0,5
249	249,5	0,5
249,5	250	0,5
250	250,5	0,5
250,5	251,5	1
251,5	252	0,5
252	254,5	2,5
254,5	255	0,5
255	258,5	3,5
258,5	259	0,5
259	259,5	0,5
259,5	260	0,5
260	262	2
262	262,5	0,5
262,5	263,5	1
263,5	264	0,5

Após as análises para definição de segmento homogêneo foi possível ter uma visão mais consistente das variáveis dependentes e independente (acidentes) a serem consideradas no modelo que será desenvolvido no próximo capítulo. A Tabela 4-24 apresenta as variáveis e a respectiva estatística descritiva das variáveis contempladas nesta aplicação.

Tabela 4-24 : Variáveis consideradas e estatística básica

Tipo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Comprimento	0,9	0,7	1	4
Acidentes	0,9	1,9	0	11
Velocidade	70,5	10,5	50	80
Tipo de Terreno	2,1	0,8	1	3
Raio de Curva	284,9	383,3	0	1662
Perímetro Urbano	0,1	0,2	0	1
Existência de Interseção	0,1	0,3	0	1
Quantidade de Acesso	0,8	1,2	0	5
Condição da Sinalização	0,4	0,5	0	1
Volume	2551	30,4	2501	2600
Greide	0,4	3,8	-7	6
Largura de Faixa	3,4	0,1	3	4
Largura de Acostamento	1,4	0,1	1	2

4.6 Geração de modelos de previsão de acidentes – MPA

Nesta seção é descrito o processo de geração de modelos de previsão de acidentes – MPA para o trecho da rodovia MG 050 compreendido entre os quilômetros 212,8 e 263,8, dividido em segmentos homogêneos conforme o método apresentado em itens anteriores. No processo de modelagem foram adotadas duas abordagens: (i) a elaboração de um modelo próprio utilizando a distribuição binomial negativa e (ii) obtenção de um modelo de previsão de acidentes utilizando o manual HSM.

4.6.1 Modelagem dos Dados Qualitativos

Segundo Montgomery e Runger (2009), as variáveis qualitativas (ou categóricas) são as características que não possuem valores quantitativos, mas, ao contrário, são definidas por categorias, ou seja, representam uma classificação dos indivíduos. Elas podem ser nominais ou ordinais, e são definidas:

- Variáveis nominais: não existe ordenação dentre as categorias. Exemplos: sexo, cor dos olhos, fumante/não fumante, doente/sadio.
- Variáveis ordinais: existe uma ordenação entre as categorias. Exemplos: escolaridade (1º, 2º, 3º graus), estágio da doença (inicial, intermediário, terminal), mês de observação (janeiro, fevereiro,..., dezembro).

Minayo (2009) menciona que esforços diversificados vêm sendo feitos para aprimorar o desenvolvimento de indicadores no âmbito da abordagem qualitativa. A tentativa de inserção de elementos subjetivos, tendo em vista as teorizações que mostram a importância do envolvimento dos diferentes atores na produção do processo e dos resultados, vem acompanhando o próprio desenvolvimento desse conceito científico, cuja finalidade primeira é aumentar a validade dos parâmetros de análise. Há pelo menos duas linhas de abordagem nessa forma de construção. Uma é proveniente da lógica quantitativa, e outra é especificamente marcada pela fundamentação hermenêutica. Construção de indicadores qualitativos por estratégias quantitativas – A busca de mensurar valores, opiniões, relações e vivências intersubjetivas é bastante antiga no campo das Ciências Sociais. Desde 1920, diversas escalas têm sido criadas. Assis *et al.* (1971) citam as seguintes:

- Distância social, de Bogardus (1970): solicita ao entrevistado para estabelecer uma hierarquia de intimidade e convivência social que ele estaria disposto a ceder para pessoas de outras nacionalidades, raças ou etnias.
- Thurstone (1928): baseia-se em questionários do tipo “concordo” ou “discordo” de certas afirmações cujos resultados serão submetidos a especialistas no tema estudado e que definirão as tendências comportamentais, das mais radicais e neutras às mais conservadoras.
- Lickert (1932): estabelece o mesmo procedimento da escala de Thurstone, mas substitui o grupo de especialistas por um grupo social com as mesmas características.
- Escalogramas de Guttman (1950): seguem a mesma lógica da escala de Bogardus e estudam as concordâncias entre as respostas, criando-se um perfil de comportamento em relação à tolerância e aceitação de outros grupos étnicos.
- Proposta sociométrica de Moreno (1954): capaz de estabelecer um sociograma, isto é, uma representação diagramática dos sentimentos de atração ou repulsa entre pessoas de determinado grupo.

A maioria desses instrumentos foi produzida entre os anos 1920 e 1930. Todos os seus organizadores atribuíam valor numérico ou ordenação percentual a respostas sobre

atitudes e comportamentos frente a situações reais ou hipotéticas. Tais dispositivos seguiam os mesmos modelos de análise qualitativa desse período histórico, os quais são intensivamente analisados por Lazarsfeld e Baron (1951), evidenciando a lógica do pensamento estatístico que os preside em suas preocupações epistemológicas e metodológicas: (a) construção de amostras reunidas de maneira sistemática; (b) busca de validação dos procedimentos de coleta de dados e de resultados; (c) criação de codificadores para medir regularidades; (d) utilização de análise de frequência como critério de objetividade e de cientificidade; (e) construção de dispositivos para medir validade, fidedignidade e produtividade da análise.

4.7 Codificação de Variáveis de Entrada

4.7.1 Variável Dummy

Na análise de regressão, a variável dependente pode ser influenciada por variáveis quantitativas e qualitativas. As variáveis quantitativas são facilmente mensuradas em alguma escala o que não ocorre com as variáveis qualitativas, uma vez que essas indicam a presença ou a ausência de uma qualidade ou atributo.

A codificação por meio de *dummies* é uma das formas de usar variáveis qualitativas (também chamadas categóricas) em estimação de modelos. Variáveis *dummy* indicam presença ou ausência de atributo; na codificação em *dummies*, as variáveis originais são transformadas em artificiais assumindo valores de 0 ou 1, onde zero indica ausência de atributo e um, sua presença. Podem ser utilizadas em modelos simples, em que a variável dá origem a apenas uma *dummy*; ou complexos, no qual a variável qualitativa origina um vetor com duas ou mais *dummies* (Missio e Jacobi, 2007). A introdução de variáveis qualitativas (*dummy*) torna o modelo de regressão linear uma ferramenta extremamente flexível capaz de lidar com muitos problemas encontrados, principalmente, em estudos empíricos.

Para codificações com mais de duas categorias é recomendado utilizar sempre uma variável a menos; isto é, se a variável qualitativa pode assumir C valores, deverá ser representada por um vetor de $C - 1$ *dummies*. Em regressão linear, violar esta recomendação faz com que o algoritmo de mínimos quadrados não funcione, devido à multicolinearidade entre os *dummies* (Baker, 2006).

4.7.2 Codificação Numérica

A codificação numérica utiliza simplesmente o sistema decimal de numeração, composto por dez numerais ou símbolos que tem o valor definido por sua posição no número, por isso é dito um sistema posicional (Tocci *et al.*, 2007). É importante ressaltar que não se deve usar esse tipo de sistema em variáveis categóricas sem ordem. Um exemplo é o caso de termos três categorias de cores – vermelho, verde e azul – simbolizadas, respectivamente, pelos valores 1, 2 e 3 e treinarmos uma rede para encontrarmos uma categoria desconhecida X entre a 1 e a 3. A saída correta seria termos 50% de chance de o resultado ser 1 ou 3, porém, utilizando o sistema numérico na variável de saída teremos como resposta a média das duas variáveis, neste caso 2, um resultado que não seria correto. Para variáveis categóricas o indicado é a conversão das mesmas para codificações compostas apenas pelos elementos 0 e 1 – *Dummy*, Termômetro, Gray, Binário, etc. (SARLE, 2002).

4.8 Decodificação do Banco de Dados

Com base no referencial teórico foi possível realizar a decodificação das variáveis qualitativas do banco de dados. Essa decodificação foi realizada para as seguintes variáveis:

- Perímetro Urbano;
- Existência de Interseção;
- Sinalização Adequada;
- Tipo de Terreno.

Para as variáveis Perímetro Urbano, existência de Interseção e Sinalização adequada utilizou-se a codificação por variável *dummy*, em que para a resposta “Sim” é atribuído o valor 1 e para resposta “Não” o valor 0.

Por outro lado, para a variável “Tipo de Terreno” utilizou-se a codificação numérica considerando o conceito de periculosidade do tipo de terreno em função de probabilidade de ocorrência de acidentes. Desta forma, em um terreno Montanhoso, a probabilidade de acidentes é menor do que em um terreno Plano, isso por que, no primeiro caso as velocidades são menores. Considerou-se um intervalo maior entre as variáveis para que fosse possível destacar a característica e importância de cada tipo de terreno. Assim, ao

terreno Plano foi dada a codificação 10, ao Ondulado foi atribuído 5 e ao Montanhoso 1. A Tabela 4-25 resume as codificações consideradas neste trabalho.

Tabela 4-25 : Codificação de Variáveis Qualitativas

Variável	Categoria	Codificação
Perímetro Urbano	Sim	1
	Não	0
Existência de Interseção	Sim	1
	Não	0
Sinalização Adequada	Sim	1
	Não	0
Tipo de Terreno	Plano	10
	Ondulado	5
	Montanhoso	1

O capítulo seguinte descreve o processo de desenvolvimento do modelo de previsão de acidentes utilizando as variáveis investigadas e a segmentação homogênea realizada para o trecho em estudo da rodovia, apresentadas neste capítulo.

4.9 Considerações Finais do Capítulo

Ao longo deste capítulo foram explanados os procedimentos para identificação de segmentos homogêneos no trecho de rodovia estudado. De forma geral pode-se observar dois grupos nesse processo: o primeiro corresponde às variáveis preponderantes para a divisão em segmentos homogêneos e o segundo refere-se às variáveis que devem receber tratamento para compor o banco de dados do estudo de previsão de acidentes. A Tabela 4-26 apresenta os dois grupos mencionados.

Tabela 4-26 : Grupos de Variáveis

ID	Segmentação	ID	Tratamento
1	Tipo de Pista	1	Greide
2	Perímetro Urbano	2	Sinalização Vertical
3	Tipo de Terreno	3	Sinalização Horizontal
4	Raio de Curva		
5	Volume Médio Diário Anual (VDMA)		
6	Existência de Interseção		
7	Quantidade de Acessos		
8	Velocidade Operacional		
9	Largura de Faixa		
10	Largura de Acostamento		

Para este trabalho, que apresenta um estudo de caso para um trecho específico da rodovia MG-050, muitas variáveis são relativamente constantes, como volume de tráfego, larguras de faixa e de acostamento, e não foi possível realizar agrupamentos em função dessas variáveis. Assim, realizou-se apenas um tratamento para a consolidação de informações e dados. Na aplicação desta metodologia em outras rodovias, acredita-se que agrupamentos em função dessas variáveis possam ser realizados.

Percebe-se que todas as metodologias estudadas, exceto Persaud *et al.* (2012) partem da metodologia de Diferenças Acumuladas (AASHTO (1986)). A metodologia de Persaud *et al.* (2012) considera que todos os segmentos devem possuir um mesmo comprimento. Neste contexto, a contribuição do método aqui proposto está em não fixar um comprimento constante para o segmento para permitir que o processo seja realizado de forma mais abrangente. Além disso, o Tipo de Terreno foi uma das variáveis no processo e não a principal, como em algumas metodologias. Por fim, o método proposto faz uma avaliação de variáveis importantes em relação ao tipo de pista, perímetro urbano e outras configurações geométricas e operacionais, que nenhum outro método considerou até o presente momento. Destaca-se que esta metodologia em relação às demais possui um passo-a-passo consistente, além de um número maior de variáveis.

Uma observação, até então não mencionada, é que a divisão de uma rodovia em segmentos homogêneos deve ser realizada a partir do seu início (km 0) ou então, do começo do eixo de concessão, para que o resultado da segmentação homogênea seja mais coerente e evite equívocos nesta classificação decorrente da análise feita para trechos isolados.

5 MODELAGEM

Este capítulo trata do processo de modelagem que consistiu da elaboração de um modelo de previsão de acidentes – MPA para o trecho rodoviário em estudo utilizando a distribuição binomial negativa. Neste processo de modelagem foi também construído um modelo base de previsão de acidentes conforme preconizado no *Highway Safety Manual* – HSM. Em seguida é feita uma análise comparativa do MPA desenvolvido considerando a divisão de segmento homogêneo, o modelo base do HSM com a calibração do parâmetro β e os valores observados.

5.1 Construção do Modelo de Previsão de Acidentes

Para a criação e calibração do modelo base para o ano de 2010 foi utilizado o SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) que é um *software* para análise estatística de dados, em um ambiente amigável, utilizando-se de menus e janelas de diálogo, que permite realizar cálculos complexos e visualizar seus resultados de forma simples e autoexplicativas (PEREIRA, 2006).

A escolha do ano base (2010) e dos dois anos subsequentes, para a validação do modelo desenvolvido, fundamentou-se na qualidade e consistência dos bancos de dados disponíveis. Foi também observada a inviabilidade da configuração da plataforma da rodovia durante o período de estudo. Os dados de volume obtidos através dos analisadores de tráfego apresentavam grande variação para os anos de 2008 e 2009, e estavam mais consistentes a partir de 2010.

O método utilizado, como apresentado em itens anteriores, foi a distribuição Binomial Negativa, que é uma extensão da distribuição de Poisson e supera problemas relacionados à superdispersão do banco de dados. A distribuição de Poisson tem a condição de que a média e a variância são iguais. Esta condição não se verifica, no entanto, na maior parte das bases de dados de frequências de acidentes, em que a variância tipicamente excede a média. Esse modelo é bastante difundido para modelagem de ocorrência de acidentes (LORD, 2006; MIAU e LORD, 2003). No entanto, o modelo tem limitações, mas notadamente a sua capacidade para lidar com dados dispersos e estimar dispersão para conjuntos amostrais pequenos e médios.

Cunto *et al.* (2014) mencionam que nos MPA com variáveis agregadas observa-se um direcionamento aos modelos lineares generalizados em virtude da variável resposta ser

aleatória discreta e positiva, além dos erros se apresentarem com distribuição compatível com a distribuição de Poisson ou binomial negativa (HADAYEGHI, *et al.*, 2003; LORD e PERSAUD, 2004; TARKO, *et al.*, 2008). A formulação do modelo, como proposta na literatura adotada neste estudo, é apresentada na Equação 5.1:

$$E(y|x_1, x_2, \dots, x_k) = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k) \quad 5.1$$

Em que $E(y|x_1, x_2, \dots, x_k)$ é o valor esperado da variável resposta, y , dado que um conjunto de k valores das variáveis explicativas é observado. Os β 's são os parâmetros que se deseja estimar. Estes podem ser interpretados aproximadamente como a taxa de variação percentual média em y para uma dada variação unitária em x .

De acordo com os dados disponibilizados pela concessionária da MG-050 no que tange às características físicas e operacionais, verifica-se que as variáveis Velocidade, Raio de Curva e Volume apresentam valores significativamente maiores que as demais variáveis. Neste contexto, para obter uma relação de ordem de grandeza com as demais variáveis do modelo foi utilizado o conceito de logaritmo natural (Ln).

Conforme afirma Magalhães (2003, p.8), logaritmos vem da junção de duas palavras no latim “*logos* – razão e *arithmos* - números (Quanta vezes se tomam à base como fator para obter o número)”. Essa era ideia principal que se tinha a respeito da palavra logaritmo. Observa-se primordialmente que a ideia proposta tinha uma relação com potenciação.

Considerando que o banco de dados possui um número significativo de variáveis, fez-se necessários ajustes para obtenção do melhor modelo e para foi necessário recorrer ao método de seleção de variáveis (*Stepwise*). Dentre as abordagens para seleção de variáveis aplicadas no contexto de regressões lineares múltiplas, o método *Stepwise* é possivelmente o mais amplamente difundido (MONTGOMERY, 2009; RUNGER, 2009). O método também vem sendo usado para a seleção de variáveis em regressões com propósito de predição (GAUCHI, 2001; CHAGNON, 2001; CHONG, 2005; JUN, 2005; ZHAI, CHEN e HU, 2006). Apesar de amplamente difundido, o desempenho do método *Stepwise* é afetado por variáveis correlacionadas e ruidosas (GAUCHI, 2001; CHAGNON, 2001).

A construção de um modelo de regressão múltipla é uma tarefa quase sempre difícil devido ao elevado número de potenciais variáveis explicativas da variável dependente. Tendo que selecionar dentre elas o conjunto ideal de regressores a incluir no modelo, adoptou-se pelo método de regressão *Stepwise*. Na aplicação deste método foram escolhidos passo a passo regressores para incluir/excluir no modelo, de modo a maximizar a percentagem da variação total explicada pelo ajustamento através do R^2 , segundo um procedimento análogo a NETER *et al.* (1996, pp 347-354). Foram construídos quatro modelos cujo processo de geração está detalhado a seguir.

O primeiro modelo desenvolvido considerou todas as 17 (dezesete) variáveis da forma como foram obtidas por meio da concessionária. A variável dependente é Acidentes e as demais foram classificadas como independente. A Tabela 5-1 apresenta os resultados obtidos para o Modelo 1 considerando a estimativa de p-valor e a explicação do modelo, o coeficiente de correlação, R^2 .

Tabela 5-1 : Estimativa de p-valor para o Modelo 1

Variável	Modelo 1	p-valor	R ²
Extensão	X	0,036	
Ln Velocidade	X	1,667	
Velocidade	X	8,691	
Tipo de Pista	X	2,364	
Terreno	X	0,093	
Ln (Raio de Curva)	X	0,158	
Raio de Curva	X	0,863	
Perímetro Urbano	X	0,052	0,112
Interseção	X	0,861	
Quantidade de Acesso	X	2,174	
Sinalização	X	1,635	
Volume	X	0,986	
Largura de Faixa	X	0,793	
Largura de Acostamento	X	2,668	
Ln Volume	X	0,943	
Greide	X	1,325	

Como pode ser visto pela Tabela anterior, inserindo todas as variáveis na geração de um modelo de distribuição binomial negativa obtém-se uma explicação do modelo muito baixa, com R^2 igual a 11,2%. Isso pode ser atribuído ao elevado número de variáveis com baixo nível de significância. Para o modelo 1, a única variável válida no nível de significância de 5% é a “Extensão”.

O Modelo 2 baseou-se no processo passo-a-passo (*Stepwise*). Para definição das variáveis passíveis de exclusão foi tomado como critério os maiores valores de *p-valor* encontrado no modelo anterior. As variáveis excluídas para obtenção do Modelo 2 foram: Velocidade, Tipo de Pista e Largura de Acostamento.

A Tabela 5-2 mostra a estimativa de *p-valor* e o R^2 obtidos para o Modelo 2, também construído com distribuição binomial negativa.

Tabela 5-2 : Estimativa de *p-valor* para o Modelo 2

Variável	Modelo 2	<i>p-valor</i>	R^2
Extensão	X	0,036	0,296
Ln Velocidade	X	1,693	
Velocidade			
Tipo de Pista			
Terreno	X	0,076	
Ln (Raio de Curva)	X	0,118	
Raio de Curva	X	2,684	
Perímetro Urbano	X	0,038	
Interseção	X	0,571	
Quantidade de Acesso	X	2,686	
Sinalização	X	1,268	
Volume	X	1,691	
Largura de Faixa	X	0,352	
Largura de Acostamento			
Ln Volume	X	0,369	
Greide	X	1,098	

Conforme a Tabela anterior a eliminação das variáveis Velocidade, Tipo de Pista e Largura de Acostamento não resultou em um modelo com maior poder de explicação da variável independente Acidentes. Constata-se um aumento no R^2 de 19 pontos percentuais em relação ao Modelo 1.

Verifica-se que apenas duas variáveis foram consideradas válidas no nível de significância de 5% para o Modelo 2, a saber, Extensão e Perímetro Urbano.

Com a mesma concepção do método de seleção de variáveis por *Stepwise* e o mesmo critério de eliminação de variáveis pelos maiores *p-valor* foi possível obter o Modelo 3. As variáveis eliminadas para elaboração deste modelo foram Ln Velocidade, Raio de Curva e Quantidade de Acessos. A Tabela 5-3 resume os resultados para a estimativa de *p-valor* e o R^2 encontrado.

Tabela 5-3 : Estimativa de p-valor para o Modelo 3

Variável	Modelo 3	p-valor	R ²
Extensão	X	0,032	0,492
Ln Velocidade			
Velocidade			
Tipo de Pista			
Terreno	X	0,068	
Ln (Raio de Curva)	X	0,102	
Raio de Curva			
Perímetro Urbano	X	0,033	
Interseção	X	0,052	
Quantidade de Acesso			
Sinalização	X	0,078	
Volume	X	1,233	
Largura de Faixa	X	0,084	
Largura de Acostamento			
Ln Volume	X	0,049	
Greide	X	0,189	

Segundo os valores da Tabela anterior, o modelo 3 apresenta um aumento no R² de 20 pontos percentuais em relação ao anterior. Contudo, a eliminação das variáveis Ln Velocidade, Raio de Curva e Quantidade de Acessos não tornaram o modelo robusto.

Verificam-se três variáveis validas no nível de significância de 5% para o modelo, que são Extensão e Perímetro Urbano e Ln Volume. Em relação ao modelo anterior, verifica-se que algumas variáveis estão muito próximas de serem válidas ao nível de significância de 5%.

Neste contexto, para construção do Modelo 4 optou-se pela eliminação de apenas uma variável e, para a calibração do Modelo 4 foi eliminada a variável Volume. A Tabela 5-4 resume os resultados encontrados.

Tabela 5-4 : Resultados do Modelo 4

Variável	Modelo 4	p-valor	R ²
Extensão	X	0,032	
Ln Velocidade			
Velocidade			
Tipo de Pista			
Terreno	X	0,028	
Ln (Raio de Curva)	X	0,036	
Raio de Curva			
Perímetro Urbano	X	0,033	0,684
Interseção	X	0,048	
Quantidade de Acesso			
Sinalização	X	0,032	
Volume			
Largura de Faixa	X	0,042	
Largura de Acostamento			
Ln Volume	X	0,039	
Greide	X	0,043	

Observa-se na Tabela anterior que ao retirar a variável Volume, as demais variáveis deste modelo são válidas ao nível de significância de 5%. Verifica-se um R² de 68,4%, que pode ser um indicativo de um modelo com explicação satisfatória em função do padrão de qualidade dos dados.

A Tabela 5-5 apresenta os resultados obtidos para os modelos desenvolvidos e as estimativas encontradas na calibração do modelo.

Tabela 5-5 : Resultados dos Modelos desenvolvidos

Variável	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	Seleção	P-valor	Seleção	P-valor	Seleção	P-valor	Seleção	P-valor
Extensão	X	0,036	X	0,036	X	0,032	X	0,031
Ln Velocidade	X	1,667	X	1,693	-	-	-	-
Velocidade	X	8,691	-	-	-	-	-	-
Tipo de Pista	X	2,364	-	-	-	-	-	-
Decod. Terreno	X	0,093	X	0,076	X	0,068	X	0,028
Ln Raio de Curva	X	0,158	X	0,118	X	0,102	X	0,036
Raio de Curva	X	0,863	X	2,684	-	-	-	-
Decod. Per. Urbano	X	0,052	X	0,038	X	0,033	X	0,033
Decod. Interseção	X	0,861	X	0,571	X	0,052	X	0,048
Acesso	X	2,174	X	2,686	-	-	-	-
Decod. Sinalização	X	1,635	X	1,268	X	0,078	X	0,035
Volume	X	0,986	X	1,691	X	1,233	-	-
Largura de Faixa	X	0,793	X	0,352	X	0,084	X	0,042
Largura de Acos.	X	2,668	-	-	-	-	-	-
Ln Volume	X	0,943	X	0,369	X	0,049	X	0,039
Greide	X	1,325	X	1,098	X	0,189	X	0,043

De acordo com o apresentado pela Tabela 5-5 e conforme mencionado em itens anteriores, os resultados demonstram a inadequação dos Modelos 1, 2 e 3. Com o método de seleção de variáveis passo-a-passo (*Stepwise*) obteve-se o Modelo 4 que apresenta as variáveis válidas ao nível de significância de 5%, ou seja, não há indícios de rejeição de hipótese nula (H_0).

5.2 Ajuste dos Modelos

Os testes de significância e os intervalos de confiança das estimativas do modelo de regressão são baseados no pressuposto da normalidade, isto é, os resíduos apresentam distribuição normal. A violação da normalidade pode estar ligada a alguns aspectos relacionados ao modelo, tais como: omissão de variáveis explicativas importantes, inclusão de variável explicativa irrelevante para o modelo, utilização de relação matemática incorreta para análise entre as variáveis do modelo.

Burnham e Anderson (2004) enfatizam a importância de selecionar modelos baseando-se em princípios científicos. Dentre as diversas metodologias utilizadas para este fim, neste

trabalho realizamos uma análise comparativa dos critérios de informação de Akaike (AIC), quanto a sua performance na seleção de modelos.

Tal critério é comparado via simulação em modelos normais e em modelos de séries temporais. Akaike (1974) utilizou a Informação de Kullback-Leibler para testar se um dado modelo é adequado. Porém seu uso é limitado, pois depende da distribuição g (modelo verdadeiro), que é desconhecida. Akaike (1974), mostrou que o viés é dado assintoticamente por p , em que p é o número de parâmetros a serem estimados no modelo, e definiu seu critério de informação como mostra a Equação 5.2:

$$AIC = -2 \text{ LOG } L(\hat{\theta}) + 2(p) \quad 5.2$$

A verificação da existência de autocorrelação residual na análise de regressão para verificação da independência, e da autocorrelação serial entre observações em análises de séries temporais, confirmando se as ordens adotadas são realmente as verdadeiras é de extrema importância para a validação destas técnicas.

Uma opção bastante empregada para detectar se os resíduos da análise de regressão são ou não autocorrelacionados é a realização de análises gráficas dos resíduos *versus* as observações ordenadas cronologicamente (DRAPER e SMITH, 1998). Por outro lado, um modo mais formal de diagnosticar a correlação serial, é a partir da aplicação do teste de Durbin-Watson (GUJARATI, 2011). Entretanto, segundo Jeong e Chung (2001), o teste apresenta algumas limitações. Dentre elas, destaca-se o fato de que o teste só pode ser utilizado para testar autocorrelações de primeira ordem.

A estatística do teste de Durbin-Watson, generalizada por Vinod (1973) é dada pela Equação 5.3:

$$d_j = \frac{\sum_{t=j+1}^n (\hat{\varepsilon}_t - \hat{\varepsilon}_{t-j})^2}{\sum_{t=1}^n \hat{\varepsilon}_t^2} \quad 5.3$$

o termo ε , gerado por um processo autorregressivo de ordem j : $\varepsilon_t = \phi_j \varepsilon_{t-j} + v_t$ e, $v_t \sim N(0, \sigma^2)$. em que $\hat{\varepsilon}_t$ são os resíduos obtidos por meio da estimação do modelo.

Segundo Oliveira (2013), uma das técnicas de diagnóstico é a análise de resíduos. O resíduo para a i -ésima observação é obtido através da função $r_i = y_i - \hat{\mu}_i$, que mensura

a diferença entre o valor observado e o valor ajustado, chamado de resíduo ordinário da variável resposta do modelo. Então podemos afirmar que modelos bem ajustados deverão apresentar pequenos resíduos e caso contrário modelos mal ajustados apresentarão grandes resíduos. De acordo com Cordeiro e Lima Neto (2006), os resíduos ordinários não são muito informativos, por não apresentar variância constante $\text{Var}(r_i) = \sigma^2(1 - h_{ii})$, pois depende dos valores de h_{ii} . A solução encontrada é comparar os resíduos de forma padronizada, então obtém-se o resíduo padronizado pela Equação 5.4:

$$r_i^* = \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\sqrt{\hat{\sigma}^2(1 - h_{ii})}} \quad 5.4$$

Em que:

$r_i^* = N(0, \sigma^2(1 - h_{ii}))$. Quanto maior for h_{ii} (alavancagem) menor será a variabilidade do resíduo. O valor estimado de y é praticamente determinado pelo valor de y .

Caso o modelo de regressão esteja correto todos os resíduos terão a mesma variância e serão adequados para a verificação de normalidade e homocedasticidade (variância constante) dos erros.

A validação da hipótese de normalidade pode ser verificada por meio do gráfico dos resíduos ordenados versus os quantis da normal padrão, podendo ser medida pelo cálculo do coeficiente de correlação entre estes que é dado pela Equação 5.5:

$$r_Q = \frac{\sum_{j=1}^n (e_j - \bar{e})(q_{(j)} - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (e_j - \bar{e})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (q_{(j)} - \bar{q})^2}} \quad 5.5$$

Em que: e_j é o j -ésimo resíduo padronizado e $q_{(j)}$ é j -ésimo quantil da normal.

Santos *et al.* (2010) mencionam que os métodos de inferência nos Modelos Lineares Generalizados baseiam-se, na máxima verossimilhança. De acordo com isto, existem três estatísticas para testar hipóteses relativas aos parâmetros do vetor β , que são deduzidas de distribuições assintóticas de funções adequadas das estimativas dos β . A estatística de teste, no caso das hipóteses simples, é definida pela Equação 5.6:

$$\xi_{RV} = \phi\{D(Y; \mu^0) - D(y; \hat{\mu})\} \quad 5.6$$

Em que:

$$\mu^0 = g^{-1}(\eta^0), \eta^0 = X\beta^0$$

Para ajustar um modelo a um conjunto de dados, uma etapa muito importante é a verificação de possíveis afastamentos das suposições do modelo, observando-se a parte aleatória e sistemática do modelo, da mesma forma que verifica-se a presença de observações com alguma influência fora de padrão nos resultados do ajuste. Inicialmente, realiza-se a análise de resíduos para detectar possíveis pontos extremos e avaliar a adequação da distribuição proposta para a variável resposta (SANTOS *et al.* 2010).

Assim como no modelo clássico de regressão, as técnicas usadas para análise de resíduos e diagnóstico para os modelos lineares generalizados são semelhantes, com algumas adaptações, devido à estrutura dos MLG. Os resíduos da modelagem estatística têm um papel muito importante que está relacionada com a qualidade do ajuste, constituindo uma das etapas mais importantes no processo de escolha do modelo adequado. Nos MLG, segundo Cordeiro e Lima Neto (2006), os resíduos são usados para explorar a adequação do modelo ajustado com respeito à escolha da função de variância, da função de ligação e de termos no preditor linear.

Dentre os tipos de resíduos mais comuns nos MLG, encontra-se o resíduo de Pearson, que é também o mais simples, sendo definido pela Equação 5.7:

$$r_i^P = \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\hat{V}_i^{1/2}} \quad 5.7$$

Em que $\hat{\mu}_i$ e \hat{V}_i são respectivamente a média ajustada e a função de variância ajustada de Y_i . Este resultado surge como uma componente da estatística de Pearson generalizada como mostra a Equação 5.8:

$$X_p^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{\mu}_i)^2}{V(\hat{\mu}_i)} \quad 5.8$$

Em que

$V(\hat{\mu}_i)$ é a função de variância estimada sob o modelo que está sendo ajustado aos dados. $\hat{\mu}_i$ é o desvio que será sempre maior ou igual a zero.

Segundo Cordeiro e Demétrio (2007), para os modelos log-lineares a expressão anterior passa a ser dada pela Equação 5.9:

$$r_i^P = (y_i - \hat{\mu}_i)\hat{\mu}_i^{-1/2} \quad 5.9$$

Onde

$\hat{\mu}_i$ é a média ajustada

y_i é a variância ajustada

A desvantagem do resíduo de Pearson é que sua distribuição é bastante assimétrica para modelos não-normais. A análise do ajuste dos Modelos de Previsão de Acidentes, desenvolvidos nesta pesquisa, segundo as estimativas mencionadas, pode ser encontrada na Tabela 5-6.

Tabela 5-6 : Resultados dos indicadores dos MPAs

Indicador	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
χ_p^2	192	190	185	172
AIC	568	623	684	721
Durbin Watson	0,236	0,458	0,659	1,38
σ_d	1,05	1,04	1,05	1,05

De acordo com a Tabela 5-6, à medida que são realizados os ajustes no método *Stepwise* (retirada de variáveis no modelo) os indicadores apresentam resultados melhores. De uma forma prática, pode-se falar que a estatística de Durbin Watson é um teste para autocorrelação e este valor está sempre entre 0 e 4. Como regra empírica, se os valores forem menores que 1 há problemas de autocorrelação positiva nos resíduos. No que diz respeito à estimativa de Akaike (AIC), de forma prática, quanto maior o resultado, mais próximo estão as estimativas de autocorrelação. Estimativas referentes a σ_d devem ser as menores possíveis. A estimativa de Pearson avalia o grau de associação entre as medidas. Essa técnica expressa um índice de associação linear entre duas variáveis contínuas e vem sendo apresentada como uma medida usual de validade, ou seja, quanto maior o valor, maior será o grau de relação entre as variáveis.

A estimativa de Pearson χ_p^2 de 172 pode ser tomada como um resultado bom ao nível de confiança de 95%. A estimativa de Akaike de 721 foi a maior encontrada entre os modelos

avaliados. A interpretação do seu valor, indica que quanto maior a estimativa, melhor o modelo. A estimativa de Durbin Watson de 1,38 indica uma auto-correlação positiva e σ_d de 1,05 é considerado um desvio favorável.

Para modelos satisfatórios, o gráfico de resíduos acumulados (*CURE plot*) deve apresentar uma oscilação moderada e aleatória em torno de zero, além de permanecer confinado na envoltória de dois desvios padrões (HAUER, 2004).. Os gráficos do teste de resíduos acumulados (*CURE plots*) permitem avaliar os resíduos acumulados com relação à variável de interesse (HAUER, 2004).

Para a elaboração do *CURE plot*, portanto, são inicialmente calculados os resíduos referentes a cada uma das observações da base de dados, isto é, a diferença entre o número observado e o número previsto de acidentes. Em seguida, esses resíduos são ordenados em função da ordem crescente de valores da variável de interesse, e são numerados consecutivamente 1, 2,..., z,..., N (em que N é o número total de observações da base de dados). Para um modelo bem ajustado aos dados, o *CURE plot* oscila em torno do valor zero dos resíduos acumulados. Além da curva dos resíduos acumulados, o *CURE plot* apresenta duas curvas adicionais, formadas pelos limites aceitáveis dos resíduos acumulados.

As Figuras 5-1, 5-2, 5-3 e 5-4 apresentam os gráficos de resíduos acumulados *CURE plot* para os Modelos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, desenvolvidos neste trabalho.

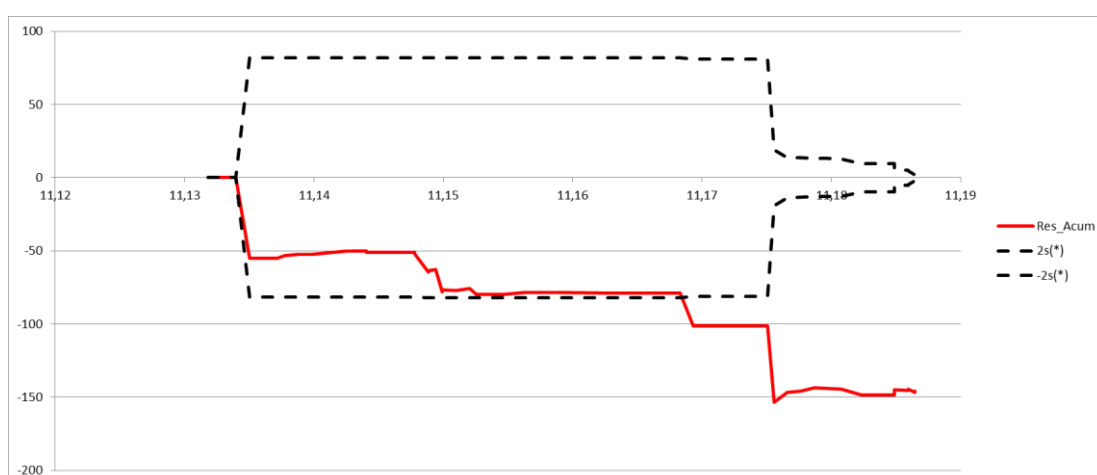


Figura 5-1 : Gráfico Cure Plot (Modelo 1)

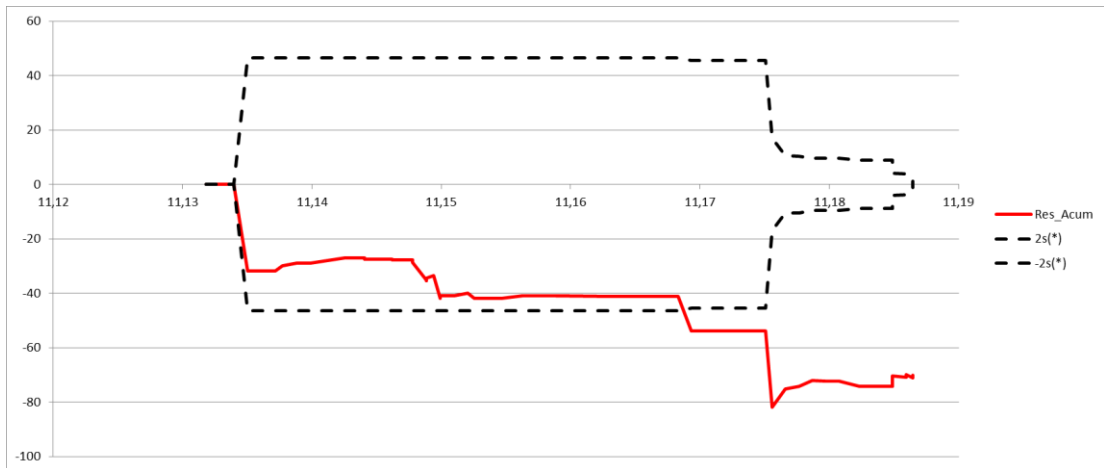


Figura 5-2 : Gráfico Cure Plot (Modelo 2)

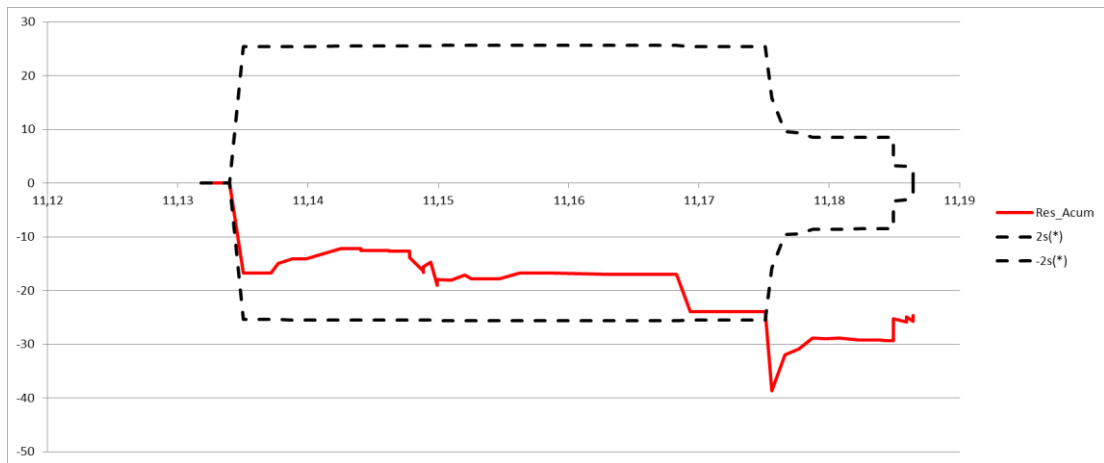


Figura 5-3 : Gráfico Cure Plot (Modelo 3)

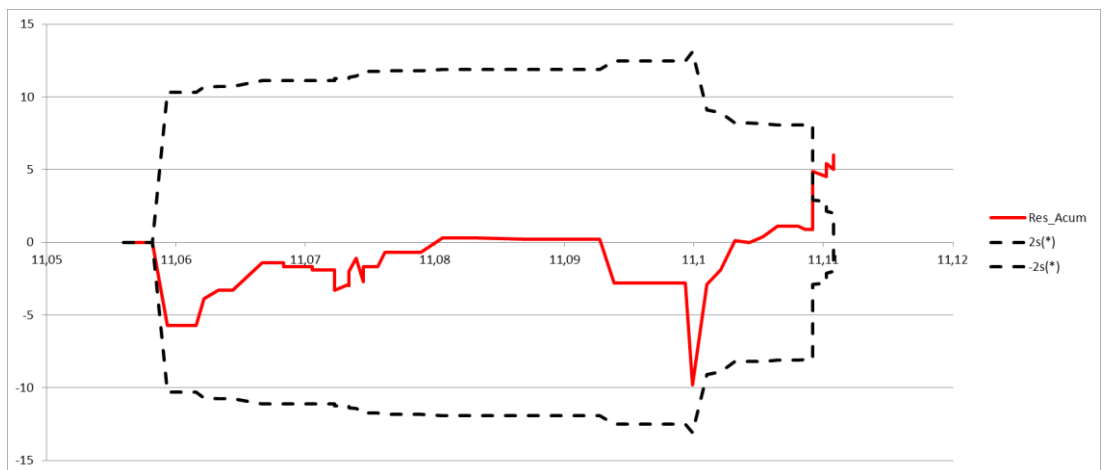


Figura 5-4 : Gráfico Cure Plot (Modelo 4)

Os Modelos 1, 2 e 3 apresentam os resíduos acumulados dentro dos limites da envoltória com valores negativos, até volumes de aproximadamente 2500 veículos) cujo índice é representado por 11,17, após este ponto os resíduos acumulados extrapolam a envoltória.

Apenas o Modelo 4 (Figura 5-4) apresenta um gráfico de resíduos (*CURE Plot*) mais equilibrado. Os resíduos acumulados estão dentro do intervalo de 2σ e -2σ , contudo apresentam uma tendência de valores negativos.

A partir dessas análises, pode-se tomar o Modelo 4 como o MPA representativo para o estudo em questão. A Equação 5.10 apresenta este MPA obtido para a previsão de acidentes do cenário avaliado que representa o ano base de 2010.

$$Y_{NA2010} = \exp \left[\frac{-2,313 + (1,413 * \ln(VMDA)) - (4,877 + \text{Sin.}) + (2,305 * \text{Int.}) + (0,3292 * fx) + (\ln(r) - 12,23) + (0,557 * L) + (1,552 * PU) - (0,8236 * \ln(TT)) + (0,2236 * g)}{5.10} \right]$$

Em que: Y_{NA2010} = número de acidentes ocorridos no ano de 2010

VMDA = Volume Médio Diário Anual

Sin. = Sinalização

Int. = Interseção

fx = Largura de Faixa

r = Raio de Curva

L = Extensão do Segmento Homogêneo

PU = Perímetro Urbano

TT = Tipo de Terreno

g = Greide (Inclinação)

Foi realizada uma avaliação do ajuste do MPA (modelo 4) através da comparação do número de acidentes registrados no banco de dados da concessionária e os valores previstos através da aplicação do MPA para o ano base desenvolvido neste trabalho.

Um ponto importante a ser levantado pelo modelo desenvolvido é acerca da variável velocidade. Conforme informações constantes em DNIT (2010) que apresenta um manual

sobre a implantação de rodovias, verifica-se que a variável velocidade é significativamente citada e, como pode ser visto pelo modelo esta variável não se fez presente. A explicação para esse fato é que o segmento avaliado possui uma velocidade projetada de 60km/h e 80km/h, ou seja, os valores se restringem a apenas dois valores.

Ocorre que, em campo, ou seja, a realidade é muito diferente, pois as velocidades demonstram uma grande variabilidade de acordo com o tipo de veículo, condutor e até mesmo há relação às variáveis de intempéries (ex. chuva). Considerando que não foi realizada uma medição de velocidade no trecho analisado, e que no processo de modelagem foi adotada a velocidade do projeto, infere-se que tais valores não possuem contribuição estatística (significância) para serem incorporados ao modelo. Foram realizados ajustes da variável com logaritmo neperiano com o objetivo de tentar compatibilizar os valores utilizados, mas, mesmo assim, não houve significância estatística sendo, no final, a variável descartada do modelo.

Para estudos futuros sugere-se que sejam realizadas medições de velocidade nos segmentos homogêneos a serem analisado, em um período amostral válido, para que seja realizada uma nova modelagem para verificar a validade/significância da referida variável.

Continuando sobre os resultados encontrados, a Figura 5-5 apresenta um gráfico que compara os acidentes ocorridos no ano de 2010 com o previsto pelo modelo desenvolvido neste trabalho, indicando que os resultados de previsão apresentam valores muito próximos aos observados. Houve uma dispersão global de -2% (51 acidentes registrados para 50 acidentes previstos pelo MPA).

De maneira análoga a Figura 5-6, apresenta a previsão do modelo desenvolvido para o ano de 2010, para a base de dados de 2011. A análise comparativa demonstra que as estimativas de previsão também apresentam indícios de um modelo ajustado, registrando uma dispersão global de aproximadamente -7% (87 acidentes identificados contra 81 estimados pelo MPA).

Os resultados apresentados na Figura 5-7 foram obtidos com o mesmo procedimento, para os dados de 2012. As estimativas de previsão exibem um ajuste satisfatório quando comparadas ao número de acidentes observados, com aproximadamente -5% de desvio global (110 acidentes identificados contra 104 acidentes estimados pelo MPA).

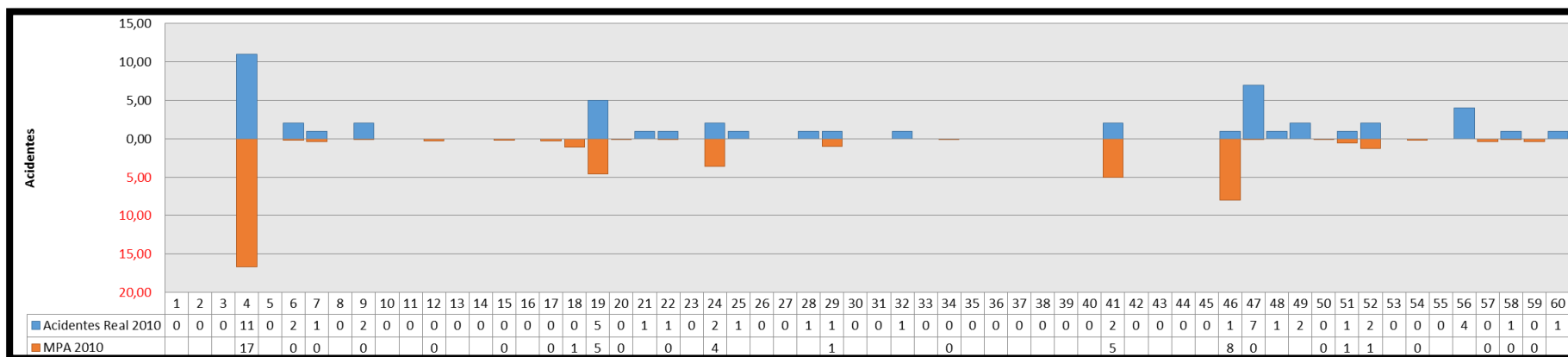


Figura 5-5 : Análise comparativa do número de acidentes observados com o previsto pelo MPA para o ano de 2010

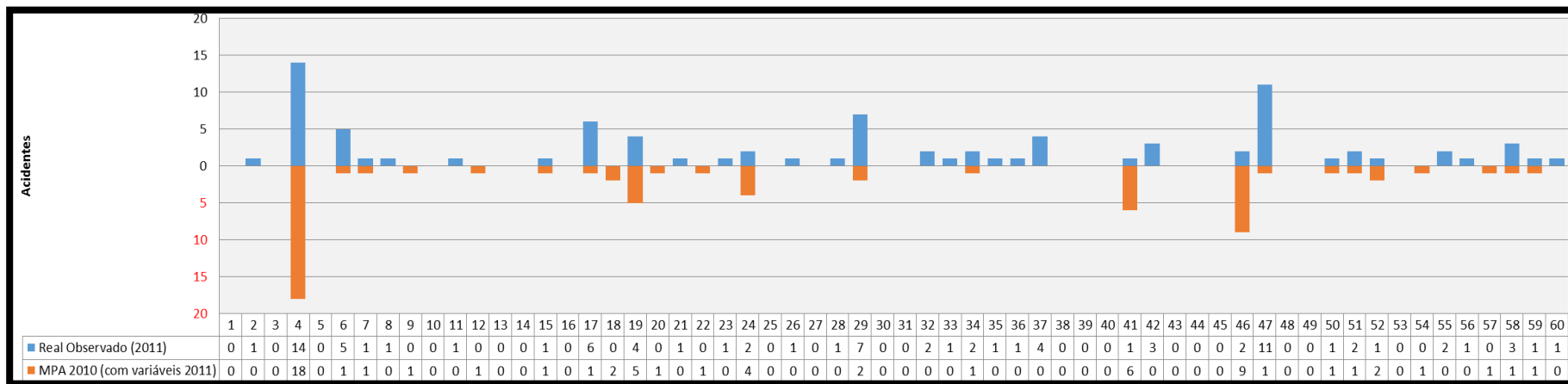


Figura 5-6 : Análise comparativa do número de acidentes observados em 2011 com a previsão do MPA para 2011

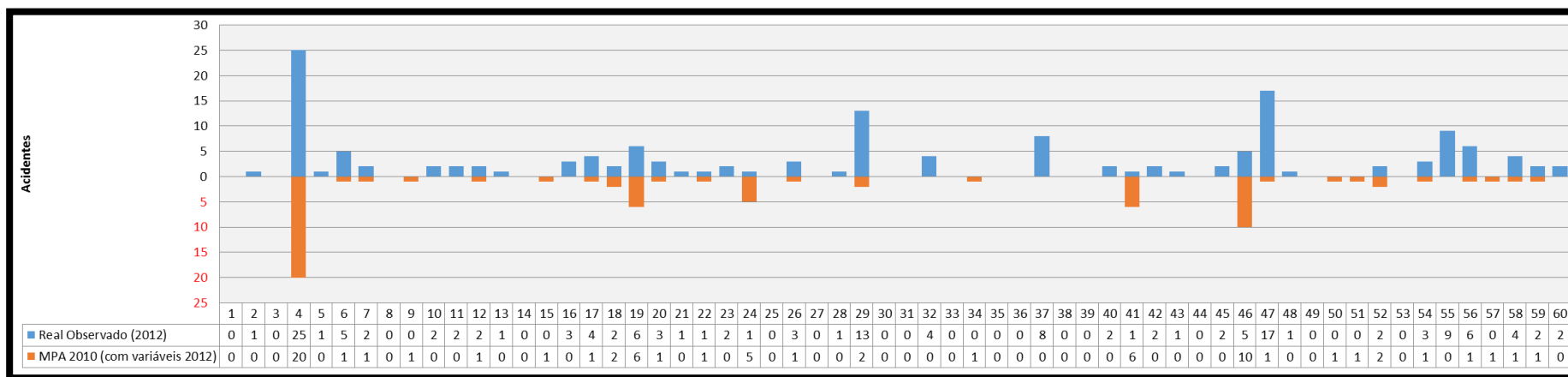


Figura 5-7 : Análise comparativa do número de acidentes observados em 2012 com a previsão do MPA para 2012

Os resultados mostram que, dependendo da configuração geométrica e operacional do segmento homogêneo, pode haver uma divergência entre o valor estimado e o registrado. Isso pode ser observado, por exemplo, nos Segmentos Homogêneos 46 e 47. O segmento 46 está localizado nas proximidades da praça de pedágio Córrego Fundo, em um trecho de pista simples, sem iluminação, e com curvas fechadas sucessivas.

O segmento apresenta alto índice de acidentes e é considerado um ponto crítico desde 2011 conforme o Plano de Segurança Rodoviária (PSR) desenvolvido pela Concessionária Nascentes das Gerais. Os tipos de acidentes mais comuns são os choques com defesa/barreira e capotamentos. Por sua vez, o Segmento Homogêneo 47 apresentou um resultado superior ao registrado o que pode ser explicado pelo MPA para locais que estão localizados em perímetro urbano.

De forma geral, verifica-se que o modelo proposto apresentou um comportamento satisfatório nas três análises efetuadas, com dispersões aceitáveis para a representação de uma realidade complexa como a ocorrência de acidentes em uma rodovia.

5.3 Modelo de Previsão de Acidentes conforme HSM

Souza (2012) menciona que o *Highway Safety Manual* (HSM) apresenta como um de seus principais argumentos para o seu uso o fato de que o seu maior rigor estatístico dos seus métodos reduz a vulnerabilidade das series históricas de acidentes que estão sujeitas a fenômenos de dispersão e aleatoriedade. Com isto o manual destaca duas de suas principais funcionalidades práticas: 1) Promover com confiança a execução de atividades comuns como, por exemplo, a definição de lugares mais propensos à redução do número e severidade de acidentes; 2) Expandir as análises de definição de novos projetos ou de seleção de alternativas geométricas e operacionais de projetos existentes.

Silva (2011) cita que o método de previsão do número de acidentes de uma rede ou infraestrutura de um local individual pode ser aplicado para um dado período de tempo, volume de tráfego, tipo de rodovia e características geométricas da via. Para isso é desenvolvido um modelo de previsão para um número de locais similares, chamados *Safety Performance Functions* (SPFs) ou como apresentado por Cunto (2009), de modelo de previsão de acidentes (MPA).

Os SPFs são modelos matemáticos capazes de estimar um número de acidentes previstos em função de características físicas e operacionais de rodovias de pista simples, pista dupla, de vias arteriais urbanas e interseções urbanas.

O modelo de previsão de acidentes do HSM leva em conta apenas as características geométricas e de tráfego. Os efeitos de fatores que transcendem a geometria da via são considerados indiretamente mediante a aplicação de fatores de calibração. O modelo se destina principalmente aos efeitos das características físicas com algumas limitações (AASHTO, 2010). A SPF para condições base em rodovias de pista simples que é o objeto do presente estudo pode ser apresentado pela Equação 5.11.

$$N_{SPF} = VMDA \times \frac{L}{1,609} \times 365 \times 10^\alpha \times e^\beta \quad 5.11$$

Em que: N_{SPF} : número de acidentes previsto para condições base em segmentos de rodovia;

VMDA: volume de tráfego diário médio anual (veículos/dia);

L: extensão do segmento analisado convertido em km;

α (constante) e β são parâmetros de calibração da SPF e, considerando a proposta de um modelo específico, optou-se por calcular o parâmetro β , pois dessa forma acredita-se obter um modelo mais consistente e harmonizado com a realidade.

Um dos procedimentos de obtenção do modelo final SPF é encontrar o fator de calibração C_r que diz respeito à calibração do modelo em função da região que se está estudando. O procedimento adotado por UDOT (2011) considera constante o valor da multiplicação entre C_r e e^β já que β também é constante como apresentado na Equação 5.12.

$$U = C_r \times e^\beta \quad 5.12$$

Aplicando a propriedade dos logaritmos verifica-se a Equação 5.13 final:

$$e^{\ln K} = e^{\ln C_r \times e^\beta} = e^y \quad 5.13$$

Desta forma, pode-se obter o novo valor γ para β , o qual pode ser substituído na equação 26 mantendo o valor de Cr igual a 1,00. Este artifício matemático tem por objetivo obter fatores de calibração a partir de SPF que sejam mais recentes, o que facilita outras adaptações futuras (SILVA, 2011). Considerando essas premissas foi obtido um valor de β igual a **1,303** em função das variáveis analisadas neste estudo. A Equação 5.14 apresenta a fórmula resultante do MPA, construído com os dados do ano de 2010 conforme o HSM.

$$N_{spf} = VMDA \times \frac{L}{1,609} \times 10^{-6} \times e^{1,303} \quad 5.14$$

Na Figura 5-8, Figura 5-9 e Figura 5-10 são apresentados os gráficos contendo os resultados comparativos considerando a previsão de acidentes segundo o modelo base do HSM e o número de acidentes observados para os anos avaliados no estudo, a saber 2010 (modelo base), 2011 e 2012 obtidos com a aplicação do modelo base.

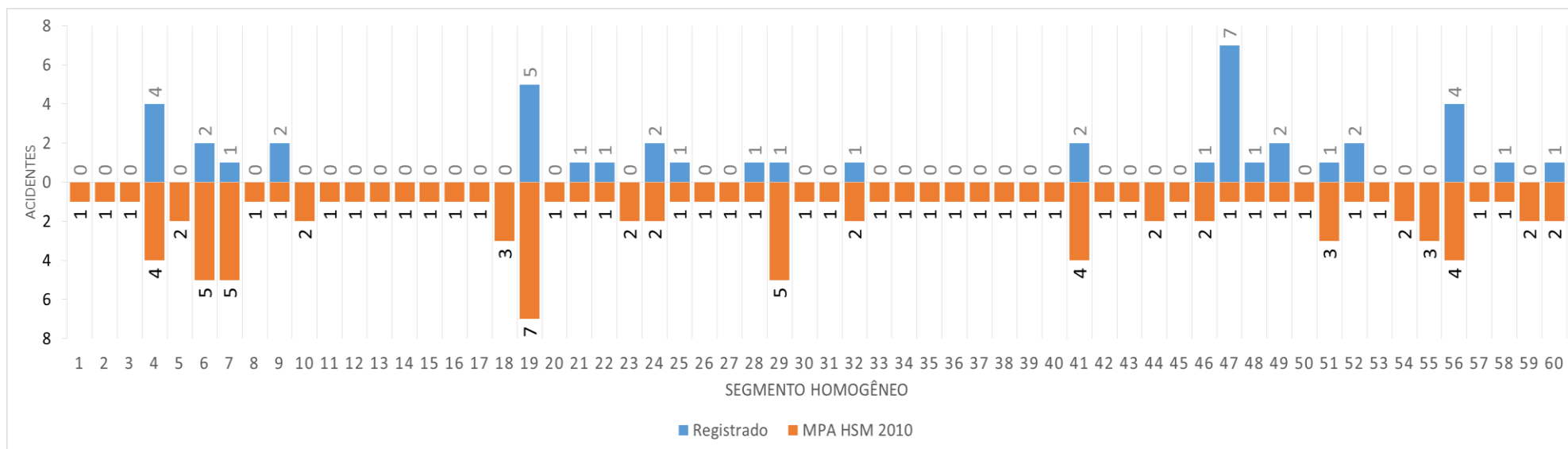


Figura 5-8 : Análise comparativa do número de acidentes observados *versus* acidentes previstos pelo HSM (2010)

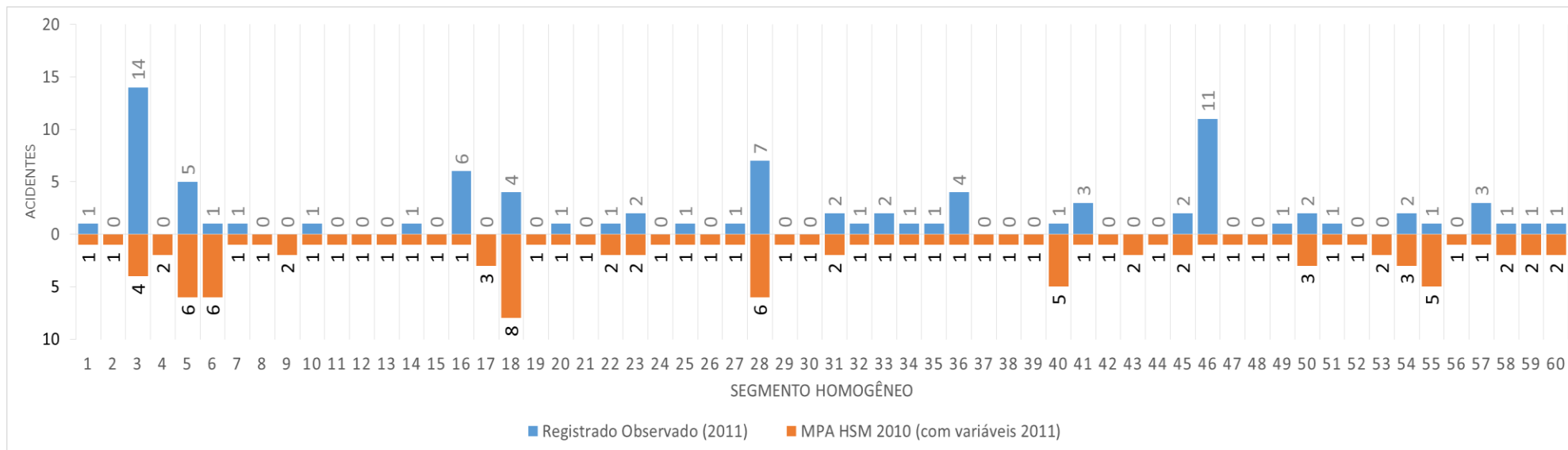


Figura 5-9 : Análise comparativa do número de acidentes observados *versus* acidentes previstos pelo HSM (2011)

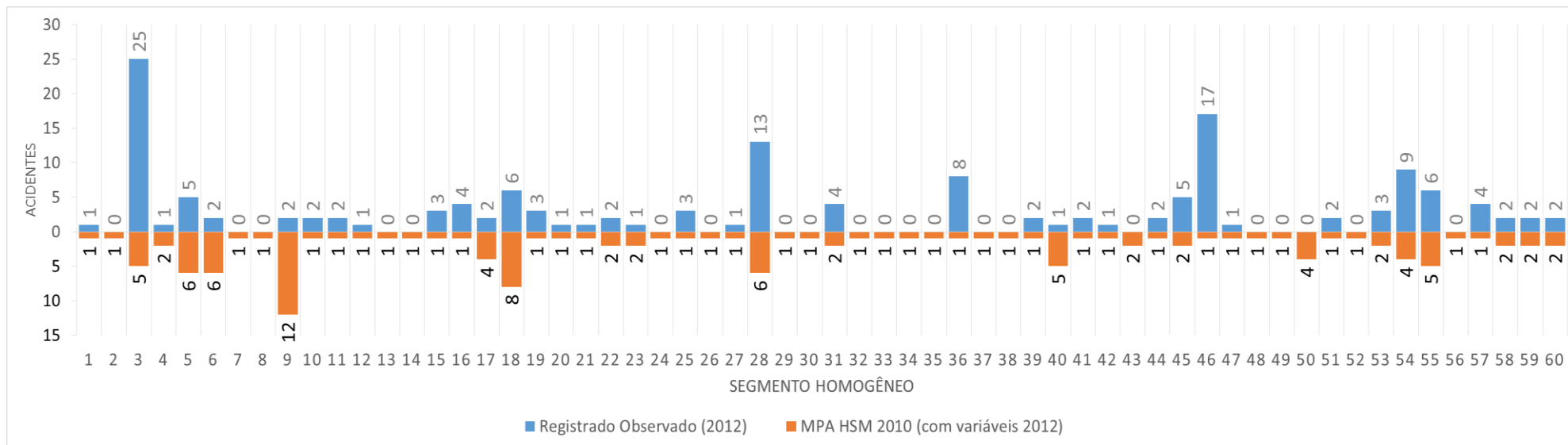


Figura 5-10 : Análise comparativa do número de acidentes observados *versus* acidentes previstos pelo HSM (2012)

Para todos os anos (2010, 2011 e 2012) o modelo base do HSM apresentou um número total de acidentes significativamente superior aos valores observados. Em 2010 foram registrados 51 acidentes, enquanto que o modelo HSM resultou em uma previsão de 103 acidentes, ou seja, 102% a mais. Já em 2011 a superestimativa foi de 25% (87 registrados e 109 previstos) e em 2012 foi 14% (110 observados e 125 previstos).

Para se verificar o quão disperso é esse resultado foi realizado o cálculo do fator de calibração C_r , cujo resultado foi de 1,83, ou seja, o número de acidentes previstos pelo modelo original do HSM é 1,83 vezes menor que o número de acidentes registrados. Conclui-se que o modelo do HSM, aplicado em sua forma base, superestima os resultados de previsão de acidentes. Em suma, conforme trabalhos realizados por Silva (2011) e Ferraz (2012), não se aconselha aplicar um modelo HSM para a realidade brasileira sem o devido tratamento, pois os resultados poderão apresentar grandes distorções.

5.4 Comparação MPA *versus* HSM *versus* Valores Observados

Este item tem por objetivo apresentar uma análise comparativa entre o MPA desenvolvido considerando a divisão de segmento homogêneo, o modelo base do HSM com a calibração do parâmetro β e os valores observados. São realizadas duas análises, a primeira em função da divisão por trechos atualmente adotada pela Concessionária, aqui denominada “segmentação atual”, aplicando o MPA e o modelo base do HSM; a segunda análise utiliza a divisão em segmentos homogêneos, denominada “segmentação proposta”, aplicando o MPA e o modelo base do HSM.

5.4.1 Segmentação Atual x MPA x HSM

O trecho da MG-050 em estudo neste trabalho, segundo a Concessionária possui:

- Extensão: 51 km
- Greide: 2,32
- VDMA: 2550
- Tipo de Terreno: Ondulado

Aplicando os conceitos definidos para a entrada das variáveis consideradas na modelagem do MPA, foi possível estimar o número de acidentes ao longo dos anos de estudo segundo a segmentação atual (da concessionária). De maneira análoga foi realizada a modelagem em função dos parâmetros do HSM.

A Tabela 5-7 demonstra os resultados encontrados nesta análise, no que diz respeito ao total de acidentes observados e previstos pelo MPA e pelo modelo base do HSM para a segmentação atual.

Tabela 5-7 : Acidentes observados e previstos pelo MPA e HSM – segmentação atual

Ano	Acidentes observados	Acidentes previstos	
		MPA	HSM
2010	51	68 (33%)	119 (113%)
2011	87	98 (13%)	128 (47%)
2012	110	121 (10%)	142 (29%)

Verifica-se pela Tabela 5-7 que os valores estimados, tanto pelo MPA desenvolvido quanto pelo modelo base do HSM resultaram em valores significativamente maiores que o observado (83% para o ano de 2010, 30% para 2011 e 20% em 2012). Os valores do HSM apresentaram valores ainda mais elevados que o MPA, 75%, 31% e 17%, respectivamente para 2010, 2011 e 2012.

5.4.2 Segmentação Proposta x MPA x HSM

Considerando a proposta de segmentos homogêneos descrita ao longo deste trabalho e os resultados demonstrados em itens anteriores, foi possível comparar o efeito da divisão de segmentos homogêneos na modelagem do MPA e do HSM. A Tabela 5-8 resume os resultados encontrados.

Tabela 5-8 : Acidentes observados e previstos pelo MPA e HSM – segmentação proposta

Ano	Acidentes observados	Acidentes previstos	
		MPA	HSM
2010	51	50 (- 2%)	103 (102%)
2011	87	81(- 7%)	109 (25%)
2012	110	104 (- 5%)	125 (14%)

Conforme pode ser visto pela Tabela 5-8, realizando a divisão em segmentos homogêneos em função da metodologia proposta neste estudo, verifica-se que os resultados obtidos dos modelos de previsão (MPA e HSM) apresentaram valores menos discrepantes e mais próximos aos valores observados comparados à segmentação atual, mostrados no item anterior. Como pode-se averiguar, os resultados previstos pelo MPA apresentaram valores significativamente próximos, porém inferiores aos observados, com dispersão média de aproximadamente -5%. Entretanto, a previsão do HSM retrata, uma dispersão média da ordem de +42%.

5.4.3 Considerações sobre as comparações dos modelos

Este item teve por objetivo apresentar os resultados comparativos dos modelos MPA e HSM em função do número de acidentes observados ao longo dos três anos de análise. Verifica-se que ao aplicar os modelos em função da segmentação atual da rodovia, os resultados não foram satisfatórios, apresentando grandes dispersões e uma tendência a superestimar os resultados de forma acentuada. Entretanto, adotando a divisão de segmentos homogêneos proposta neste trabalho, observa-se que os resultados de previsão do MPA em relação ao observado estão muito próximos, conforme constatado através das figuras apresentadas anteriormente.

De forma geral, a divisão de segmentos homogêneos proposta neste estudo proporcionou a obtenção de resultados mais satisfatórios em relação à previsão de acidentes para o contexto analisado.

5.5 Validação do MPA

Uma forma de confirmar a robustez de um modelo é a aplicação deste em outros cenários. Para validar o modelo desenvolvido neste trabalho tomou-se um trecho distinto do eixo de concessão da concessionária, de forma aleatória, para o qual foram aplicadas a metodologia de divisão de segmentos homogêneos e a previsão de acidentes em função do MPA desenvolvido neste trabalho. Esse processo de escolha aleatória tende a eliminar tendências na validação do modelo.

O trecho escolhido aleatoriamente foi o “Segmento 7” (identificação adotada pela concessionária) com origem em Divinópolis (km 132) até o município de São Sebastião do Oeste (km 143), totalizando 11 km de extensão. De forma geral, a característica deste trecho é Pista Simples, com velocidade média regulamentada de 60 km/h e predominância de tipo de terreno classificado como montanhoso. Foram identificados acessos e interseções ao longo do trecho, principalmente acessos a distritos próximos à rodovia. A sinalização neste trecho possui deficiências em pontos específicos, sobretudo em locais que possuem acessos. Verifica-se que a largura de faixa de rolamento é na totalidade 3,5 metros e a largura de acostamento varia entre 1,2 e 1,5 metros. No que diz respeito aos acidentes, em 2010 o trecho apresentou um total de 17 acidentes. Em 2011 houve um aumento significativo (205%) com 52 acidentes registrados, e por fim, em 2012 ocorreram 55 acidentes (5% maior que o ano anterior).

Segundo os ATs, tem-se para o ano de 2010 um volume médio de 2593 veículos. No ano de 2011 houve um aumento de aproximadamente 3%, correspondendo a 2671 veículos. Por fim, no ano de 2012 o aumento do volume de veículos foi de 2%, referente a um volume de 2750 veículos.

Importante salientar que a forma de obtenção dos dados deste trecho foi a mesma realizada para o trecho utilizado na calibração do MPA. As características físicas da rodovia foram obtidas através do levantamento planialtimétrico da rodovia, disponível em pranchas com seções longitudinais de 500 metros. As características operacionais constam nos registros da concessionária. A Tabela 5-9 ilustra a caracterização do trecho analisado para a validação do modelo (km 132 a 143).

Tabela 5-9 : Cadastro do trecho de rodovia utilizado na validação do MPA (km 132 a 143)

km Inical	km Final	Acidentes 2010	Acidentes 2011	Acidentes 2012	Total de Acidentes	Velocidade	Tipo de Pista 2010	Tipo de Terreno	Raio de Curva	Perímetro Urbano	Existe Interseção	Quantidade de Acesso	Sinalização Adequada?	Volume 2010	Volume 2011	Volume 2012	Greide	Largura de Faixa	Largura de Acostamento
132	132,5	1	3	1	5	80	Pista Simples	Montanhoso	391,08	Não	Não	0	Sim	2638	2717	2771	-4,53	3,5	1,2
132,5	133	1	0	7	8	60	Pista Simples	Montanhoso	461,78	Não	Não	0	Não	2573	2650	2703	-5,61	3,5	1,2
133	133,5	0	4	2	6	60	Pista Simples	Montanhoso	248,8	Não	Não	0	Sim	2609	2687	2741	5,86	3,5	1,8
133,5	134	0	2	4	6	60	Pista Simples	Montanhoso	486,76	Não	Não	2	Sim	2639	2718	2772	5,86	3,5	1,8
134	134,5	0	2	1	3	60	Pista Simples	Plano	777,97	Não	Não	0	Sim	2564	2641	2694	-1,69	3,5	1,2
134,5	135	1	1	5	7	60	Pista Simples	Plano	0	Não	Sim	2	Não	2558	2635	2688	-0,66	3,5	1,2
135	135,5	1	6	1	8	80	Pista Simples	Ondulado	0	Não	Não	0	Sim	2560	2637	2690	-2,56	3,5	1,5
135,5	136	0	1	6	7	80	Pista Simples	Montanhoso	202,94	Não	Não	0	Sim	2561	2638	2691	-6,14	3,5	1,5
136	136,5	1	1	3	5	80	Pista Simples	Montanhoso	256,14	Não	Não	0	Sim	2529	2605	2657	-6,14	3,5	1,2
136,5	137	3	2	1	6	80	Pista Simples	Ondulado	256,14	Não	Não	0	Sim	2651	2731	2786	-3,38	3,5	1,2
137	137,5	1	3	0	4	80	Pista Simples	Ondulado	0	Não	Sim	3	Não	2586	2664	2717	-3,38	3,5	1,2
137,5	138	0	8	1	9	60	Pista Simples	Montanhoso	599,25	Sim	Sim	2	Não	2541	2617	2669	-6,58	3,5	1,5
138	138,5	0	3	0	3	60	Pista Simples	Plano	0	Não	Não	0	Sim	2635	2714	2768	0,74	3,3	1,2
138,5	139	1	1	3	5	80	Pista Simples	Montanhoso	1203,72	Não	Não	0	Sim	2648	2727	2782	5,02	3,3	1,2
139	139,5	2	3	1	6	80	Pista Simples	Ondulado	0	Não	Não	0	Sim	2584	2662	2715	2,86	3,3	1,2
139,5	140	0	0	5	5	60	Pista Simples	Montanhoso	0	Não	Não	0	Não	2643	2722	2776	4,69	3,5	1,2
140	140,5	1	2	3	6	60	Pista Simples	Plano	0	Não	Sm	1	Não	2632	2711	2765	1,92	3,5	1,5
140,5	141	1	0	4	5	80	Pista Simples	Montanhoso	1280,99	Não	Não	0	Não	2649	2728	2783	-6,12	3,5	1,2
141	141,5	0	0	2	2	80	Pista Simples	Plano	0	Não	Não	0	Não	2536	2612	2664	-1,76	3,5	1,5
141,5	142	1	2	0	3	80	Pista Simples	Montanhoso	0	Não	Sim	2	Não	2619	2698	2752	-5,79	3,5	1,2
142	142,5	1	2	1	4	80	Pista Simples	Montanhoso	0	Não	Não	0	Sim	2537	2613	2665	6,09	3,5	1,2
142,5	143	1	6	4	11	80	Pista Simples	Plano	0	Não	Sim	1	Não	2571	2648	2701	-1,39	3,5	1,2

Considerando as premissas estabelecidas na metodologia proposta neste trabalho foi possível realizar o agrupamento das seções longitudinais em cinco situações, sendo três agrupamentos para tipos de terrenos montanhosos, um agrupamento para ondulado e um agrupamento para plano.

A análise das demais variáveis determinantes da segmentação homogênea foram realizadas de maneira análoga ao processo de calibração do modelo.

A Tabela 5-10 apresenta o resultado final do agrupamento realizado para a identificação dos segmentos homogêneos do trecho de rodovia selecionado, para fins de validação do modelo desenvolvido. Os dados completos encontram-se na Tabela do Apêndice A.

Tabela 5-10 : Segmentação homogênea proposta para o trecho de validação

km Inicial	km Final	Comprimento (km)
132	134	2
134	135	1
135	135,5	0,5
135,5	136,5	1
136,5	137,5	1
137,5	138	0,5
138	138,5	0,5
138,5	139	0,5
139	139,5	0,5
139,5	140	0,5
140	140,5	0,5
140,5	141	0,5
141	141,5	0,5
141,5	142,5	1
142,5	143	0,5

Em seguida ao processo de segmentação homogênea, foi aplicado o modelo de previsão de acidentes, conforme a equação 26, para as variáveis do trecho de validação analisado neste capítulo. Desta forma, foram obtidas as estimativas de previsão de acidentes, primeiramente, para o ano de 2010, mostradas na Tabela 5-11.

Tabela 5-11 : Previsão de Acidentes para o ano de 2010

km Inicial	km Final	Comprimento (km)	Acidente Previsto
132	134	2	2
134	135	1	1
135	135,5	0,5	0
135,5	136,5	1	0
136,5	137,5	1	3
137,5	138	0,5	2
138	138,5	0,5	0
138,5	139	0,5	1
139	139,5	0,5	2
139,5	140	0,5	0
140	140,5	0,5	0
140,5	141	0,5	1
141	141,5	0,5	0
141,5	142,5	1	1
142,5	143	0,5	0

No que diz respeito à validação do modelo em função do gráfico *Cure Plot* verifica-se, pela Figura 5-11, indícios de um bom ajuste do modelo, pois os resíduos acumulados oscilam em torno do valor zero e dentro dos limites das curvas (intervalo de 2σ e -2σ).

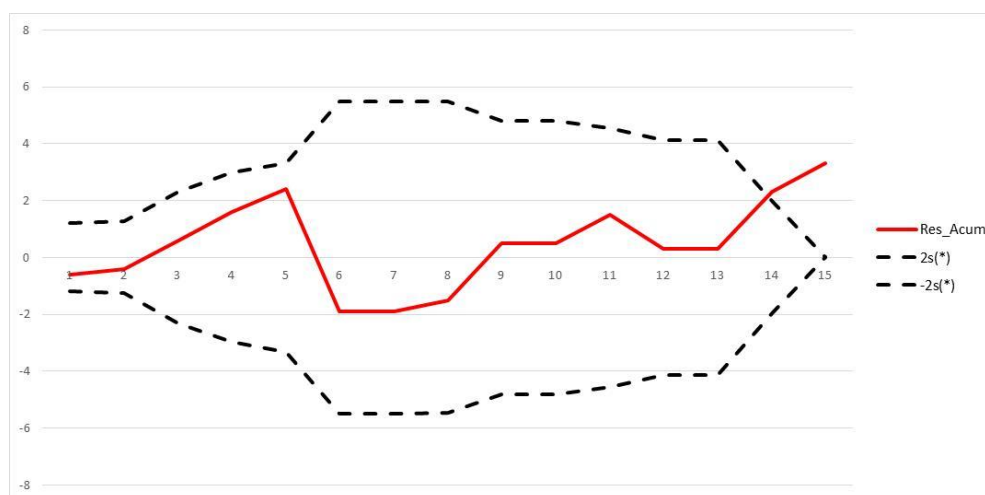


Figura 5-11 : Validação do MPA 2010 - análise dos resíduos acumulados - *Cure Plot*

Aplicando a mesma sequência de análise adotada no processo de calibração, foi avaliado o resultado de previsão de acidentes em função da metodologia do HSM, conforme demonstrado pela Tabela 5-12.

Tabela 5-12 : Comparação número de acidentes observados x HSM (2010)

Segmento Homogêneo	Observado (2010)	HSM 2010	Diferença
1	2	1	1
2	1	1	0
3	1	1	0
4	1	1	0
5	4	1	3
6	0	1	1
7	0	1	1
8	1	1	0
9	2	1	1
10	0	1	1
11	1	1	0
12	1	1	0
13	0	1	1
14	2	1	1
15	1	1	0
Total	17	15	10

Segundo a Tabela 5-12, o modelo de previsão do HSM, conforme já mencionado, também apresenta tendência de estimativas maior ou igual a 1, o que difere da realidade da rodovia de estudo e de outras de mesma característica, pois nos locais com zero acidentes, inevitavelmente, o modelo do HSM irá superestimar.

A Tabela 5-13 ilustra os resultados obtidos na comparação do número de acidentes observados com aqueles gerados pelo MPA e pelo método do HSM. Segundo a referida Tabela, o modelo MPA apresenta resultados mais alinhados com os dados registrados.

Tabela 5-13 : Comparação número de acidentes observados x MPA x HSM (2010)

Segmento Homogêneo	Observado (2010)	MPA 2010 (Proposto)	HSM 2010
1	2	2	1
2	1	1	1
3	1	0	1
4	1	0	1
5	4	3	1
6	0	2	1
7	0	0	1
8	1	1	1
9	2	2	1
10	0	0	1
11	1	0	1
12	1	1	1
13	0	0	1
14	2	1	1
15	1	0	1
Total	17	13	15

O MPA proposto estima um valor total de acidentes menor que o observado (23% menos). Já o modelo do HSM apresenta uma previsão 11% menor que o registrado. Não obstante, o erro médio absoluto do MPA proposto é menor que o modelo de previsão do HSM.

A Tabela 5-14 apresenta a análise para o ano de 2011. As estimativas estão mais ajustadas em comparação com o ano anterior (2010). Em 2011 foram registrados 52 acidentes. O MPA proposto estimou 34 acidentes e o modelo HSM 23 acidentes. Além disto, verifica-se um erro médio absoluto para o MPA proposto em torno de 6%, enquanto que o erro para o modelo do HSM é aproximadamente 10%.

Tabela 5-14 : Comparação Observado x MPA x HSM (2011)

Segmento	Observado (2011)	MPA 2011 (Proposto)	HSM 2010 (com variáveis 2011)
1	9	6	5
2	3	2	2
3	6	5	1
4	2	1	2
5	5	4	2
6	8	6	1
7	3	1	1
8	1	1	1
9	3	2	1
10	0	0	1
11	2	2	1
12	0	0	1
13	0	0	1
14	4	1	2
15	6	3	1
Total	52	34	23

Realizando análise análoga, no ano de 2012 tem-se 55 acidentes registrados, sendo que o MPA 2012 estimou 39 acidentes e o modelo HSM 29 acidentes. No que diz respeito ao erro médio absoluto, averigua-se no MPA proposto uma dispersão de até 5%, enquanto no modelo do HSM está em torno de 8%. A Tabela 5-15 apresenta a análise mencionada.

Tabela 5-15 : Comparação acidentes observados x MPA x HSM (2012)

Segmento	Observado (2012)	MPA 2012 (Proposto)	HSM 2010 (com variáveis 2012)
1	14	10	4
2	6	5	3
3	1	1	1
4	9	6	4
5	1	0	2
6	1	1	1
7	0	0	1
8	3	3	1
9	1	1	1
10	5	4	3
11	3	2	1
12	4	2	1
13	2	1	1
14	1	0	2
15	4	3	1
Total	55	39	27

Os resultados apresentados neste capítulo apontam que as estimativas do modelo proposto estão mais próximas dos valores reais registrados do que as estimativas obtidas através da modelagem pela metodologia HSM.

Um ponto importante a ser observado é que a metodologia HSM não atende à realidade de locais com acidentes zero, ou seja, a utilização desta metodologia sempre apresentará valores diferentes de zero e maiores que 1. Assim, a utilização do GEE e da Binomial Negativa faz-se necessária em estudos de previsão de acidente pois, esses conceitos proporcionam trabalhar com valores positivos e também com valores de zero acidentes.

Em suma, a metodologia de divisão de segmentos homogêneos proposta neste trabalho mostrou-se eficaz e pode tornar-se uma ferramenta significativamente útil no processo de calibração de um modelo de previsão de acidentes para o caso de rodovias de pista simples.

Entretanto, o trabalho apresenta limitações. Variáveis como praça de pedágio, índice de obstáculos laterais (*RHR*) e superelevação, que estão no contexto de segmentação, não foram contemplados em virtude de não ter registro dessas ocorrências no trecho estudado. Além disso, acredita-se ser necessário incorporar a variável velocidade na modelagem a partir de uma medição realizada em campo e não apenas a velocidade constante do projeto.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo elaborar uma proposta de metodologia de divisão de segmentos homogêneos para trechos de rodovia de pista simples e em seguida avaliar o efeito desta segmentação homogênea no processo de construção de modelos de previsão de acidentes (MPA). O primeiro passo foi a escolha do objeto de estudo, neste caso a Rodovia MG-050, atualmente sob concessão da Nascentes das Gerais.

Após a definição da área de estudo foi realizada a avaliação do trecho mais adequado para aplicar a metodologia proposta. Dentre os 20 trechos considerados pela concessionária foi escolhido o de número 10, que possui aproximadamente 51 km de extensão, e está localizado entre os municípios de Córrego Fundo e Doresópolis. A concessionária disponibilizou o seu banco de dados referente aos anos de 2010, 2011 e 2012.

A partir da definição do trecho de estudo foi feita uma pesquisa qualitativa e quantitativa sobre as características físicas e operacionais da rodovia. A partir da revisão bibliográfica acerca dos estudos realizados sobre a caracterização de segmentos homogêneos, associada à análise das características da área de estudo, foram selecionadas 13 variáveis, que compuseram o banco de dados desta pesquisa, e foram objeto de investigação nos processos de segmentação e de modelagem da previsão de acidentes.

No processo de divisão em segmentos homogêneos foram utilizados diversos conceitos de engenharia de tráfego, premissas e conceitos matemáticos e estatísticos, além de escalas quantitativas. Isto foi necessário porque o banco de dados continha também variáveis nominais, por exemplo, tipo de terreno e condições de sinalização, dentre outras.

A referência inicial foi o cadastro da Concessionária relatado a cada 500 metros, totalizando 104 seções longitudinais (de 500 metros de comprimento) no trecho em estudo. Após a aplicação da metodologia proposta para a divisão em segmentos homogêneos, foram identificados 60 segmentos homogêneos, ocorrendo uma redução de aproximadamente 42% no número de seções consideradas inicialmente. O emprego da metodologia resultou em 20 agrupamentos de seções conforme as variáveis, que constituíram os segmentos homogêneos.

Para a modelagem do MPA foi utilizada a distribuição binomial negativa, também conhecida por Poisson-gamma para a construção de quatro modelos considerando a condição da rodovia no ano base de 2010. Os modelos assim construídos foram analisados segundo os indicadores de desempenho de normalidade (χ_p^2 (Pearson), AIC (Akaike), Durbin Watson e σ_a (Desvio)), resíduos acumulados.

O modelo considerado de maior robustez foi construído com as seguintes variáveis: Extensão, Tipo de Terreno (decodificado), Ln Raio de Curva, Perímetro Urbano (decodificado), Interseção (decodificado) Sinalização (decodificado), Largura de Faixa, Ln Volume e Greide. O coeficiente de correlação é de 68,4%, indicando um bom poder de explicação do modelo de previsão de acidentes.

Foi realizada uma avaliação do ajuste do MPA por meio da comparação do número de acidentes registrados no banco de dados da concessionária e os valores previstos através da aplicação do MPA para o ano base

A comparação do número de acidentes ocorridos com a previsão do MPA, para o ano base (2010) aponta valores muito próximos aos observados. Observou-se uma diferença de -2% referente a 51 acidentes registrados e 50 previstos pelo MPA. Para a base de dados de 2011, a análise comparativa demonstra que as estimativas de previsão também apresentam indícios de um modelo ajustado, registrando uma dispersão global de aproximadamente -7% (87 acidentes identificados contra 81 estimados pelo MPA), Por fim, para os dados de 2012, as estimativas de previsão exibem um ajuste satisfatório quando comparadas ao número de acidentes observados, com aproximadamente -5% de desvio global (110 acidentes identificados contra 104 acidentes estimados pelo MPA).

Ainda no processo de modelagem, foi também construído um modelo de previsão de acidentes conforme o *Highway Safety Manual* – HSM, utilizando o modelo base apresentado neste manual, referente às condições do ano de 2010. Para efeito de calibração regional do modelo base foi realizado apenas um ajuste no fator de parâmetro β . Para todos os anos (2010, 2011 e 2012) o modelo base do HSM apresentou um número total de acidentes significativamente superior aos valores observados. Em 2010 foram registrados 51 acidentes, enquanto que o modelo HSM resultou em uma previsão de 103

acidentes, ou seja, 102% a mais. Em 2011 a superestimativa foi de 25% (87 registrados e 109 previstos) e em 2012 igual a 14% (110 observados e 125 previstos).

A partir do cálculo do fator de calibração, cujo resultado foi de 1,83, conclui-se que o modelo do HSM aplicado em sua forma base superestima os resultados de previsão de acidentes. Este resultado reforça os achados de Silva (2011) e Ferraz (2012), que não aconselham a aplicação de um modelo HSM para a realidade brasileira sem o devido tratamento, pois os resultados poderão apresentar grandes distorções.

O MPA desenvolvido conforme a divisão em segmentos homogêneos foi comparado com o modelo base do HSM e com os valores observados. Nesta comparação foram realizadas duas análises: a primeira em função da divisão em trechos atualmente adotada pela Concessionária (segmentação atual) e a segunda utilizando o método de segmentação homogênea (segmentação proposta), aplicando o MPA e o modelo base do HSM em ambas as análises.

Os valores estimados durante a primeira análise (segmentação atual), tanto pelo MPA desenvolvido quanto pelo modelo base do HSM mostraram-se significativamente maiores que os observados (83% para o ano de 2010, 30% para 2011 e 20% em 2012). Os valores previstos pelo HSM apresentaram valores ainda mais elevados que o MPA, 75% , 31% 17%, respectivamente para 2010, 2011 e 2012.

A análise análoga, em função da segmentação proposta, conduziu a resultados menos discrepantes e mais próximos dos valores observados, comparados à segmentação atual. A previsão do MPA apresentou valores mais próximos, porém inferiores aos observados, com dispersão média de aproximadamente -5%. Entretanto, a previsão do HSM retrata, uma dispersão média da ordem de +42%. De forma geral, a divisão de segmentos homogêneos proposta neste estudo proporcionou a obtenção de resultados mais satisfatórios em relação à previsão de acidentes para o contexto analisado

Para validação do modelo foi realizada uma análise de um trecho selecionado de forma aleatória. O trecho analisado foi o de número 7, que possui 11 km de extensão, compreendendo a ligação dos municípios de Divinópolis e São Sebastião do Oeste.

Seguindo os critérios propostos neste trabalho para aplicação do método de segmentação homogênea, o trecho de rodovia utilizado para a validação do MPA foi dividido em segmentos homogêneos. Em seguida a este processo de segmentação homogênea, foi aplicado o modelo de previsão de acidentes desenvolvido para rodovias de pista simples. A validação do modelo foi atestada pela bom ajuste encontrado na análise dos resíduos acumulados.

Na validação do modelo foi adotada a mesma sequência de análise do processo de calibração. O modelo de previsão do HSM apresentou a mesma tendência de superestimativas para segmentos com zero acidentes. Na comparação do número de acidentes observados com aqueles gerados pelo MPA e pelo método do HSM para 2010, o modelo MPA apresenta resultados mais alinhados com os dados registrados. O MPA proposto estima um valor total de acidentes 23% menor que o observado. O modelo do HSM apresenta uma previsão 11% menor que o registrado. De maneira geral, as análises apontam que as estimativas do número de acidentes do MPA estão mais próximas do número de acidentes registrados do que as estimativas obtidas através da modelagem pela metodologia HSM.

Um ponto importante a ser observado é que a metodologia HSM não atende à realidade de locais com acidentes zero, ou seja, a utilização desta metodologia sempre apresentará valores diferentes de zero e maiores que 1. Assim, a utilização do GEE e da Binomial Negativa faz-se necessária em estudos de previsão de acidente pois, esses conceitos proporcionam trabalhar com valores positivos e também com valores de zero acidentes.

Tanto a calibração do modelo quanto a sua validação apontam que a metodologia de divisão de segmentos homogêneos proposta neste trabalho mostrou-se eficaz e pode torna-se uma ferramenta significativamente útil no processo de calibração de um modelo de previsão de acidentes para o caso de rodovias de pista simples.

Entende-se que a metodologia para identificação de segmentos homogêneos possa contribuir para a confecção de projetos de sinalização e estudos de segurança viária, como identificação de pontos críticos, mais adequados e com maior confiabilidade, uma vez que podem ser identificadas as características mais propensas, ou mais vulneráveis, para esses projetos e estudos.

Com relação ao estudo de previsão de acidentes, este trabalho propôs um modelo estatístico desenvolvido para uma rodovia de pista simples, neste caso específico da rodovia MG-050. Espera-se que o MPA proporcione aos órgãos gestores de rodovias uma ferramenta para aprimorar o planejamento de intervenções para redução de acidentes.

Como este estudo foi realizado para um trecho específico de uma rodovia de pista simples, recomenda-se incorporar dados de outras rodovias e construir um novo modelo de previsão de acidentes, que permita uma aplicação mais abrangente, e possa reproduzir as condições de diversas rodovias brasileiras, por exemplo, pista dupla ou pista simples com terceira faixa.

As travessias urbanas, tão comuns em rodovias brasileiras, poderiam receber um tratamento diferenciado, motivando o desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes específicos para estas localidades, cujas características físicas, operacionais e comportamentais diferem enormemente dos trechos onde não há essas travessias.

Sobre as limitações do trabalho, pode-se perceber ao longo do texto que variáveis como praça de pedágio, índice de obstáculos laterais (*RHR*) e superelevação, que estão no contexto de segmentação, não foram contemplados em virtude de não ter registro dessas ocorrências no trecho estudado. Caso a metodologia seja aplicada a rodovias que possuam tais configurações deve ser realizada uma nova segmentação levando em conta esses elementos e construído um novo modelo para que as estimativas sejam mais assertivas. Além disso, acredita-se ser necessário incorporar a variável velocidade na modelagem a partir de uma medição realizada em campo e não apenas a velocidade constante do projeto.

Outra recomendação muito importante para futuros trabalhos é garantir a qualidade do banco de dados de acidentes, bem como do banco de dados volumétricos, uma vez que, no caso deste estudo, alguns dados precisaram ser descartados por falta de um padrão aceitável de qualidade. Um banco de dados impreciso e/ou incompleto pode gerar resultados inadequados, mesmo quando se estabelece uma boa metodologia de pesquisa.

Outra questão a ser considerada em trabalhos desta natureza, é na medida do possível, poder contar com informações completas e consistentes acerca das características físicas e operacionais da rodovia. A qualidade dessas informações assegura análises e

proposições mais eficazes e evita a necessidade de visitas de campo para complementação e/ou obtenção de informações cruciais à realização de pesquisas sobre segurança de vias rurais.

REFERÊNCIAS

AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO guide for design of pavement structure. Washington, USA, 1993.

AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. Technical Report, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, 1986.

AASHTO. Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1st. Edition, Washington, D.C, 2010

ABDEL-ATY, M.; WANG, X.; SANTOS J. B. "Identifying Intersection Related Traffic Crashes for Accurate Safety Representation" published at the ITE Journal 2009 (Vol. 79 (12), pp. 38- 44).

AGRANONIK, M. Equações de estimação generalizadas (GEE): aplicação em estudo sobre mortalidade neonatal em gemelares de Porto Alegre, RS 2009/ 110 f.: il.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control., Boston, v.19, n.6, p.716-723, Dec. 1974.

ANDRADE, C. M. O modelo QRSP para quantificação do risco na saída de veículos da pista em rodovias. São Carlos, SP. 2011.

ANDRADE, R. G.; SETTI, R.J. Método Para Caracterização E Classificação De Trechos Homogêneos Rodoviários, ANPET, 2011.

ANDREA, R.S. Proposição De Uma Lista De Verificação Para Revisão De Segurança Viária De Rodovias. Andrea Reinheimer Schopf. Porto Alegre 2006.

ANDREW V., BARED J. G., Publication No. Fhwa-Rd-98-133 October 1998 Accident Models for Two-lane Rural Roads: Segments and Intersections.

ANTT. Anuário Estatístico do Transporte Terrestre. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/>> Acessado em: 10/12/2014.

ASSIS, S.G.; DESLANDES, S.F.; MINAYO, M.C.S; SANTOS, N.C. Definição de objetivos e construção de indicadores visando à triangulação. In: Minayo MCS, Assis SG, Souza ER (Org.). Avaliação por triangulação de métodos: abordagem de programas sociais. Rio de Janeiro: Ed. Fiocruz. p.105- 131.

AUSTROADS. Road safety audit. Austrália: Austroads National Office, 1994.

BAKER, S. L. Dummy Variables. Pp.1-6. Disponível em <http://hspm.sph.sc.edu/courses/J716/pdf/7166%20Dummy%20Variables%20and%20Time%20Series.pdf>. Acesso em 19 de junho de 2015.

BALDOCHI, V.; VARESCHE, M.; POVINELLI, J.; VAZOLLER, R. Anaerobic biomass evaluation during biodigestion of solid wastes amended with organic substrates and using leachate as a seed. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 1996, México. [*Anais eletrônico...*] México: AIDIS, 1996. 1 CD-ROM. (Exemplo de artigo em congresso)

BARBOSA, S. H. Rodovias de pedágio aberto ou free-flow: Perspectivas para a Implantação no Brasil. Dissertação de Mestrado, UFMG. Belo Horizonte. 2013. 103p

BARBOSA, H.; CUNTO, F.; BEZERRA, B.; NODARI, C.; JACQUES, M. A. 13th WCTR, July 15-18, 2013 – Rio de Janeiro, Brazil 1. Perspectives On The Development Of Safety Performance Models For Brazilian Roads. 13th WCTR, July 15-18, 2013.

BASTOS, J. T. Geografia da Mortalidade no Trânsito no Brasil, Dissertação de Mestrado, São Carlos, 2011.

BOGARDUS E. Distância social na cidade. In: Pierson D (Org.). Estudo de Organização Social. São Paulo; 1970. p.38-52.

BORTKIEWICZ, L. Das Getez der Kleinen Zahlen (The Law of Small Numbers). Leipzig. 1898.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel inference: understanding aic and bic in model selection. *Sociological Methods and Research*. Beverly Hills, v.33, n.2, p.261-304, May 2004.

CADIMA, J. Modelos lineares generalizados. Lisboa: DM/ISA, 2013. Disponível em:
Acesso em: 15 nov. 2013.

CAFISO, S., Di GRAZIANO. Expert's Opinion in bus transport safety management using Delphi Technique. TRB 91st Annual Meeting Compendium of Papers, CD-ROM, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2012 (under review process).

CAMPOS, H. M. R. A universidade não será mais a mesma. Belo Horizonte: Conselho de Extensão da UFMG, 1984. 18 p. Relatório. (Exemplo de relatório)

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

CHAGAS. M. D., NODARI C. T., LINDAU L. A. Lista De Fatores Contribuintes De Acidentes De Tránsito Para Pesquisa No Brasil Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/PPEGP Laboratório de Sistemas de Transportes/LASTRAN Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. XXVI ANPET.

CHONG, I.-G.; JUN, C.-H. Performance of some variable selection methods when multicollinearity is present. Chemometrics Intelligent Laboratory Systems, v. 78, p. 103-112, 2005.

CLAUDE, G. F. de M. Previsão da Ocorrência de Acidentes de Tránsito em Interseções de Vias Arteriais Urbanas – O Caso de Taguatinga/DF. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação: T. DM – 014 A/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 171 p.

CNT. Confederação Nacional de Transportes. Pesquisa CNT de Rodovias. Brasília, DF 2014

CNT. Confederação Nacional de Transportes. Sondagem: Expectativas Econômicas do Transportador Rodoviário. Brasília, DF. 2012

COMISSÃO EUROPÉIA. Programa de Ação Europeu: Reduzir para metade o número de vítimas da estrada na União Européia até 2010, uma responsabilidade de todos; Bruxelas.

CORDEIRO, G.M. e LIMA, E.A. Modelos Paramétricos. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Estatística e Informática. 2006

CORDEIRO, G.M.; DEMÉTRIO, C.G.B., Modelos Lineares Generalizados. 52a reunião Anual da RBRAS 12a SEAGRO, Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Exatas, 2007

COSTA, T. Avaliação da Transferibilidade de Modelos de Previsão de Acidentes Para Vias Urbanas em Belo Horizonte, UFMG, Belo Horizonte, 2013, Brasil.

CUNTO, F. J. C. Projeto de Pesquisa: Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias urbanas Brasileiras – Edital MCT/CNPq 18/2009 – UFC - Fortaleza - CE.

CUNTO, F. J. C.; NODARI, C. T. Aspectos conceituais sobre o desenvolvimento de modelos de Previsão de acidentes de trânsito. ANPET, 2011.

DATASUS. Portal da Saúde. Disponível em <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0205> Acessado em 17/12/2014.

DEMÉTRIO, C. G. B; CORDEIRO, G. M. Modelos Lineares Generalizados e Extensões. 2008 Disponível em: <http://verde.esalq.usp.br/~jorge/cursos/clarice/livro.pdf> Acesso em: 11/11/2014.

DENATRAN. Brasil. Manual de Procedimentos do Sistema Nacional de Estatísticas de Acidentes de Transito - SINET. 2000, Brasilia DF.

DENATRAN. Departamento Nacional de Transito. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/index.htm> Acessado em 20/11/2014.

DNER – PRO 269/94 (1994d). Procedimento - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – TECNAPAV (Método da Resiliência). Rio de Janeiro.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo. Rio de Janeiro: DCTec, 1998. 140p.

DNIT. Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, Rio de Janeiro, 1999. 195p. (IPR Publ., 706)

DNIT. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de projeto de interseções. 2.ed. - Rio de Janeiro, 2005. 528p. (IPR. Publ., 718).

DNIT. Elaboração de ações preventivas e corretivas de segurança rodoviária, por meio de identificação e mapeamento dos segmentos críticos da malha viária do DNIT Destaque Orçamentário - Portaria nº 1.282 de 31 de outubro de 2008 - DNIT / UFSC.

DNIT. Identificação e Proposição de Melhorias em Segmentos Críticos da Malha Rodoviária Federal do DNIT. Rio de Janeiro, 2009.

DNIT. Manual de Sinalização Rodoviária, 3ª edição. Rio de Janeiro, 2010.

DRAPER, R. N.; SMITH, H. Applied regression analysis.3.ed. New York: John Wiley, 1998. 706p.

ELLIOT, H. A.; DEMPSEY, B.A. Agronomic effects of land application of water treatment sludges. *Journal American Water Works Association*, Denver, v. 83, n. 4, p. 126-131, Apr. 1991. (Exemplo de artigo em Journal)

ELVIK R. Laws of accident causation. Institute of Transport Economics. 18th ICTCT workshop. 2005.

EUROPEAN TRANSPORT SAFETY COUNCIL. Eu Transport Accident , Incident And Casualty Databases : - Current Status And Future Needs. Brussels, 2001.

FREITAS, F. E., VRANCIANU, D. I. Definition of Homogeneous Road Sectors According to COS 336. *Trnsportation Infraestructure Engineering* 2006.

GAUCHI, J. P.; CHAGNON, P. Comparison of selection methods of explanatory variables in PLS regression with application to manufacturing process data. *Chemometrics Intelligent Laboratory Systems*, v. 58, p. 171-193, 2001.

GAUCHI, J. P.; CHAGNON, P. Comparison of selection methods of explanatory variables in PLS regression with application to manufacturing process data. *Chemometrics Intelligent Laboratory Systems*, v. 58, p. 171-193, 2001.

GILMOUR, A.R.; ANDERSON, R.D.; RAE, A.L. The analysis of binomial data by a generalized linear mixed model. *Biometrika*, v.72, p.593-599, 1985.

GIOLO, S. R. Análise de dados discretos [Notas de Aula]. Universidade Federal do Paraná, 2006.

GUJARATI, D. N. *Econometria básica*.5.ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2011. 920p.

GUTTMAN L. The problem of attitude and opinion measurement: the basis for scalograma analysis. *Measurement and Prediction*. Princeton:Princeton University Press; 1950.

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. DOI: 10.3141/1840-10, 2003.

HAKKERT, A. S.; L. HOCHERMAN; A. MENSAH. Levels of safety on interurban roads. *Transportation Research Record*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., n. 1553, p. 95–102, 1996.

HAUER E., Ng, J. C.N., and LOVELL, J., "Estimation of Safety at Signalized Intersections," *Transportation Research Board*, TRR 1185, Washington, D.C., 1988.

HAUER, E. *Statistical Road Safety Modeling*. *Transportation Research Record* No. 1897, pp. 81-87. 2004.

Institute of Transportation Engineers – ITE. *Traffic Engineering Handbook*. 5. ed. 704p, 1999

IPEA. *Uma Análise dos Investimentos na Infra-Estrutura Rodoviária Federal nos Anos Oitenta*. Brasília-DF. 2012.

JEONG, J.; CHUNG, S. Bootstrap tests for autocorrelation. *Comput. Stat. Anal.*, Amsterdam, v.38, p.49-69, 2001.

LAZARSELD, P.; BARTON A. H. Qualitative measurement in the social sciences: classification, typologies and indices. In: Lerner D, Lasswell HD (Ed.). *The policy sciences*. Stanford: Stanford University Press; 1951. p.155-92

LIAN, K,Y; ZEGER, S.L. Longitudinal analysis using generalized linear models *Biometrika*73:13-22. 1986.

LIKERT R. A Technique for the measurerment of attitudes. *Archives of Psychology*. 1932;140:1-55.

LORD, D.; PERSAUD, B. N. Estimating the safety performance of urban road transportation networks. *Accident Analysis and Prevention*, v. 36, n. 4, p. 609-620. DOI: 10.1016/S0001-4575(03)00069-1. 2004.

MAGALHÃES, G. N. Trabalho Monográfico sobre Logaritmos. Rio de janeiro: Biblioteca nacional, 2003.

MANTOVANI, V. R., Proposta de um sistema integrado de gestão em segurança de tráfego - SIG SET. São Carlos - SP. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. UFSCar. 175p. Dissertação de Mestrado. 2004.

MARCONI, M. A.; PRESOTTO, Z.M.N. *Antropologia: uma introdução* 3ª edição. São Paulo. Atlas, 1993.

MIAOU, S. -P., e D. LORD. “Modeling traffic crash-flow relationships for intersections: dispersion parameter, functional form, and Bayes versus Empirical Bayes.” *Transportation Research Record* 1840, 2003: 31–40.

MIAOU, S-P.; LUM, H. Modeling Vehicle Accidents and Highway Geometric Design Relationships. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 25, No.6, pp. 689-709, 1993.

MINAYO, S. C. M. The construction of qualitative indicators for the evaluation of Changes. Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro. 2009.

MIRANDA, V. A. A. Utilização do método TRIPOD na investigação dos fatores envolvidos nos acidentes de trânsito. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997

MISSIO, F.; JACOBI, L. F. Variáveis dummy: especificações de modelos com parâmetros variáveis. Revista Ciência e Natura, vol. 29, nº 1, 2007.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009. 493 p

MORENO JL. Fondaments de la sociométrie. Paris: Presses Universitaires de France; 1954

NBR- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W.M.. Generalized linear models. Journal of the Royal Statistical Society, A 135, 370-384, 1972.

NEST-USP –Núcleo de Estudos de Segurança no Trânsito da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011

NETER, J.; KUTNER, M.; NACHTSHEIM, C.; WASSERMAN, W. Applied Linear Regression Models, 3.^a ed., Irwin, Chicago, 1997.

NETO, C. A.; FILHO, P. B.; ROMMINGER, E. A.; FERREIRA, M. I.; VASCONCELOS, S. F. L. Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do PAC: mapeamento Ipea de obras portuárias. Brasília: Ipea, out. 2009 (Texto para Discussão, n. 1.423).

NODARI, C.; LINDA. L. Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simple; XIII Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte; Anais eletrônicos (CD); Nova York, 2004.

OGLE, J.; ALLURI, P.; SARASUA, W. The role of segmentation in safety analysis. Transportation Research Board Annual Meeting Proceedings, Washington D.C., 2011.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Disponível em <http://www.who.int/countries/bra/es/>> Acessado em 20/11/2014.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Safety on Roads. What's the Vision? Paris, 2002. Disponível em:<<http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/02SafetyOnRoads.pdf>> Acesso em: Nov. 2009.

PEREIRA, A. Guia Prático de Utilização do SPSS: Análise de Dados para Ciências Sociais e Psicologia. Lisboa: Silbao, 2006.

Permanent International Association of Road Congresses - PIARC. World Road Association. Technical Committee. Road Safety Manual. Québec. 602p, 2003.

PERROW, C. Normal accidents. Living with high risk technologies. Second edition. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1999.

PERSAUD, B.; LORD, D.; BASSANI, M.; SACCHI, E. Assessing International Transferability of the Highway Safety Manual Crash Prediction Algorithm and its Components. Transportation Research Record, ed. TRB 2012 Annual Meeting, Washington D.C., USA. Transportation Research Record, 2012.

PETZOLD, M.F. “Uma abordagem sistêmica da dinâmica da segurança de trânsito”, Rio de Janeiro, COPPE/ UFRJ, Tese D.Sc, 1985.

PRENTICE R. Correlated binary regression with covariates specific to each binary observation. Biometrics 1988;44(4):1033-48.

QUIN, X.; WELLNER, A., Segment length impact on highway safety screening analysis. TRB 2012 Annual Meeting, Washington, D.C., 2012.

ROESS, R. P. Speed-Flow Curves for Freeways in the HCM: A Historical Perspective. 90th Annual Meeting of the TRB, Washington, DC (CD-ROM), 2011.

RÜBENSAM, J.; SCHULZE, F. Entwicklung einer Methodik zur zweckmäßigen Zusammenfassung maßnahmebedürftiger Abschnitte der BAB-Betriebsstrecken auf der Grundlage von Zustands- und erstandsdaten. Forschung Straßenbau und

Straßenverkehrstechnik, Heft 736, Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg, Germany, 1996. In German.

SABEY, B. E.; STAUGHTON, G. C., Interacting roles of road environment, vehicle and road user in accidents. Proceedings of the fifth International Conference of the International Association for Accident and Traffic Medicine, London, 1975

SALES, A.; CORDEIRO, J. S. Imobilização da fase sólida de lodos de estações de tratamento de água (ETAs). In: ANDREOLI, C. V. (coord.). *Resíduos sólidos no saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: ABES, 2001. cap. 10, p. 245-257. (Exemplo de capítulo de livro).

SANTOS, L. A.; ALCARDE, R.; JANEIRO, V.; ERLER, G.; DEMÉTRIO, C. G. B.; PIEDADE, S. M. S.; NAKANO, O. Modelagem de número e massa de ovos de insetos considerando distribuições Tweedie. In: 19 Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística (SINAPE), 2010, São Pedro. Anais do 19 SINAPE, 2010.

SARLE, W. S. Questions. SAS. Cary, NC, USA. Disponível em <ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ2.html>. Acesso em 19 de junho de 2015.

SAWALHA, Z.; T. SAYED. Traffic accident modeling: some statistical issues. Canadian Journal of Civil Engineering. v. 33, p. 1115–1124. <http://dx.doi.org/10.1139/L06-056>, 2006.

SCHALL, R. Estimation in generalized linear models with random effects. *Biometrika*, v.78, p.719-727, 1991.

SENNE, J., M. Instrumentação sísmica para centrais nucleares.116f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Nucleares) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1983. (Exemplo de monografia, dissertação, tese), 1983.

SHAW, L.; SICHEL, H. S. Accident proneness. Research in the occurrence, causation and prevention of road accidents. Pergamon Press, Oxford, 1971

SILVA, K.C. Aplicação do Modelo de Previsão de Acidentes do HSM em Rodovias de Pista Simples do Estado de São Paulo. São Carlos. 2011.

SILVA, N. B.; AMORIM, L. D.; ROSEMEIRE L.; NEVES, N. M. A. ; BARRETO, M. Intervalos de confiança para sensibilidade e especificidade para múltiplos testes usando Equações de Estimação Generalizada: Uma aplicação para diagnóstico de *Ascaris lumbricoides*. 2008. UFBA (Apresentação de Trabalho/Congresso).

SOUSA, J. Q. Modelagem microscópica aplicada na avaliação do desempenho da segurança viária em interseções urbanas. Universidade Federal do Ceará. 2012.

TARKO, A. P.; INEROWICZ, M.; RAMOS, J.; LI, W. (2008). Tool with road-level crash prediction for transportation safety planning. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, v. 2083, n. 1, p. 16-25. DOI: 10.3141/2083-03

THOMAS, F. Generating homogeneous road sections based on surface measurements: available methods Reprint from the 2nd European P Reprint from the 2nd European Pavement and Asset Management Conf Management, 21–23 March 2004, Berlin Germany (Paper no. 48), 2004.

THOMAS, F. Statistical approach to road segmentation. *Journal of Transportation Engineering* 129(3), pp.300-308, 2003

THOMAS, F.; WENINGER-VYCUDIL, A.; SIMANEK, P. (2004). Automated segmentation of pavement measurements based on Bayesian ideas: Experiences from Austria. 6th International Conference on Managing Pavements, Brisbane, Australia, 19-24 October 2004, paper 136.

THURSTONE, L.L. Attitudes can be measured. *American Journal of Sociology*. 1928;33: 529-44.

TOCCI, R. J.; WIDMER, NEAL S.; MOSS, GREGORY L. 2007. *Sistemas Digitais - princípios e aplicações*. 10ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.

TRB. Highway Capacity Manual. Special Report 209. Transportation Research Board, Washington, D.C, 1985

TRB. Highway Capacity Manual 2010. Transportation Research Board, The National Academies, Washington, D.C, 2010.

TREAT; J. R.; TUMBAS, N. S.; MCDONALD, S. T.; SHINAR, D.; HUME, R. D.; MAYER, R. E.; STANSIFER, R. L.; CASTELLAN, N. J. TRI-level study of the causes of traffic accidents: Final Report. Report DOT HS 805-085. US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Washington DC. 1979

TRIOLA, M. F. *Introdução à estatística*. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC S.A., 1999. 412 p.

TURKMAN, M. A.; SILVA, G. VIII Congresso Anual da Sociedade Portuguesa de Estatística. Modelos Lineares Generalizados - da teoria à prática. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Estatística, 2000.

VENEZUELA, M. K. – Equação de estimação generalizada e influência local para modelos de regressão beta com medidas repetidas. Tese de Doutorado – USP, 2008.

VINOD, H. D. Generalization of the Durbin-Watson statistic for higher order autoregressive process. *Commun. Stat.*, Jakarta, v.2, p.115–144, 1973.

VOGT, A.; BARED, J.G., "Accident Models for Two-Lane Rural Segments and Intersections," Transportation Research Board, TRR 1635, Washington, D.C., 1998, to appear.

VRANCIANU, I.D. Definition of Homogeneous Road Sector According to COST 336. Portugal. 2006.

ZEGGER, C. V, J. HUMMER, D. REINFURT, L. HERF, and W. HUNTER. Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads. Report FHWA/ RD-87/008. FHWA and TRB, National Research Council, Washington, D.C., Oct. 1987.

ZHAI, H. L.; CHEN, X. G.; HU, Z. D. A new approach for the identification of important variables. *Chemometrics Intelligent Laboratory Systems*, v. 80, p. 130-135, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemolab.2005.09.002>.

ZORN CJW. Generalized estimating equation models for correlated data: A review with applications. *Am J Pol Sci*. 2001;45(2):470-90.

APÊNDICE A – BANCO DE DADOS E AGRUPAMENTOS

Tabela A -1: Banco de dados utilizado e agrupamentos realizados.

Legenda:

S = Pista Simples

P = Terreno Plano

O = Terreno Ondulado

M = Terreno Montanhoso

Tabela A – 1: Banco de dados Inicial utilizado.

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
1	Divinópolis	05:30:00	127	700	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.4.CHOQUE C/DEFENSA	SECA	PLANO	3	0	0
2	São Sebastião do Paraíso	14:25:00	380	900	Acidente c/ Vítima Fatal	2.COLISÃO FRONTAL	SECA	INCLINADO	1	0	1
3	Passos	01:30:00	358	800	Acidente c/ Vítima Ilesa	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	DEPRESSÃO	4	0	0
4	São Sebastião do Paraíso	00:55:00	393	800	Acidente c/ Vítima Fatal	11.2.QUEDA	SECA	INCLINADO	0	0	1
5	Divinópolis	08:50:00	120	800	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	3	0	0
6	Divinópolis	12:00:00	140	500	Acidente c/ Vítima Ilesa	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	INCLINADO	6	0	0
7	Passos	18:40:00	354	600	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	MOLHADA	DEPRESSÃO	3	0	0
8	Passos	11:20:00	351	900	Acidente c/ Vítima Ferida	10.ENGAVETAMENTO	SECA	PLANO	5	2	0
9	São Sebastião do Paraíso	16:30:00	402	200	Acidente c/ Vítima Ilesa	10.ENGAVETAMENTO	SECA	INCLINADO	12	0	0
10	Passos	19:50:00	330	300	Acidente c/ Vítima Ilesa	2.COLISÃO FRONTAL	SECA	PLANO	2	0	0
11	Passos	09:50:00	359	900	Acidente c/ Vítima Ilesa	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	4	0	0
12	Carmo do Cajuru	14:10:00	095	500	Acidente c/ Vítima Ferida	2.COLISÃO FRONTAL	MOLHADA	PLANO	1	1	0

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
13	São Sebastião do Paraíso	14:20:00	389	200	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.8.CHOQUE C/VEÍC. PISTA	SECA	PLANO	5	0	0
14	Piumhi	10:10:00	312	700	Acidente c/ Vítima Ilesa	8.TOMBAMENTO	MOLHADA	PLANO	2	0	0
15	São Sebastião do Paraíso	17:10:00	386	200	Acidente c/ Vítima Ilesa	8.TOMBAMENTO	MOLHADA	INCLINADO	1	0	0
16	Carmo do Cajuru	16:40:00	086	600	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	NÃO INFORMADO	NÃO INFORMADO	3	0	0
17	Passos	13:45:00	327	800	Acidente c/ Vítima Ferida	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	1	1	0
18	Carmo do Cajuru	23:20:00	117	500	Acidente c/ Vítima Ferida	11.2.QUEDA	NÃO INFORMADO	NÃO INFORMADO	0	1	0
19	Carmo do Cajuru	05:30:00	086	200	Acidente c/ Vítima Ilesa	8.TOMBAMENTO	SECA	PLANO	1	0	0
20	Passos	06:30:00	352	900	Acidente c/ Vítima Ilesa	7.ATROP.DE ANIMAL	SECA	PLANO	1	0	0
21	São Sebastião do Paraíso	22:30:00	004	500	Acidente c/ Vítima Ferida	4.COLISÃO TRANSV.	NÃO INFORMADO	NÃO INFORMADO	6	2	0
22	Passos	05:50:00	344	700	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	INCLINADO	5	0	0
23	Passos	15:30:00	366	200	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	INCLINADO	2	0	0
24	Divinópolis	17:20:00	138	500	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.8.CHOQUE C/VEÍC. PISTA	SECA	INCLINADO	3	0	0

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
25	São Sebastião do Paraíso	20:45:00	001	500	Acidente c/ Vítima Ferida	6.3.ATROP. CICLISTA	SECA	LOMBADA	1	1	0
26	Carmo do Cajuru	19:40:00	100	600	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.6.CHOQUE C/TALUDE	MOLHAD A	INCLINADO	1	0	0
27	Passos	06:55:00	357	600	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	2	0	0
28	São Sebastião do Paraíso	21:30:00	375	700	Acidente c/ Vítima Ferida	11.9.OUTROS	SECA	INCLINADO	0	1	0
29	Passos	10:45:00	372	500	Acidente c/ Vítima Ilesa	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	2	0	0
30	São Sebastião do Paraíso	01:20:00	644	900	Acidente c/ Vítima Fatal	11.1.SEQUÊNCIA	SECA	DEPRESSÃO	0	2	2
31	Divinópolis	06:30:00	119	900	Acidente c/ Vítima Ferida	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	3	1	0
32	São Sebastião do Paraíso	17:00:00	003	700	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.11.CHOQUE C/ OUTROS	SECA	INCLINADO	2	0	0
33	Carmo do Cajuru	05:00:00	085	300	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	INCLINADO	2	0	0
34	Passos	09:50:00	357	600	Acidente c/ Vítima Ilesa	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	2	0	0
35	Passos	21:55:00	328	200	Acidente c/ Vítima Ferida	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	1	1	0
36	Passos	16:00:00	330	700	Acidente c/ Vítima Ilesa	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	2	0	0
37	Passos	21:40:00	343	500	Acidente c/ Vítima Ilesa	3.COLISÃO LATERAL	SECA	INCLINADO	2	0	0
38	Carmo do Cajuru	12:20:00	115	700	Acidente c/ Vítima Fatal	2.COLISÃO FRONTAL	MOLHAD A	INCLINADO	0	2	1

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
39	Carmo do Cajuru	17:45:00	089	800	Acidente c/ Vítima Ferida	9.CAPOTAMENTO	MOLHAD A	INCLINADO	0	3	0
40	Carmo do Cajuru	18:00:00	089	800	Acidente c/ Vítima Ilesa	11.1.SEUÊNCIA	MOLHAD A	INCLINADO	4	0	0
41	Carmo do Cajuru	18:30:00	089	800	Acidente c/ Vítima Ferida	2.COLISÃO FRONTAL	MOLHAD A	INCLINADO	0	3	0
42	Passos	21:00:00	362	900	Acidente c/ Vítima Fatal	2.COLISÃO FRONTAL	SECA	INCLINADO	1	1	1
43	Passos	00:20:00	350	000	Acidente c/ Vítima Ferida	11.2.QUEDA	SECA	INCLINADO	0	2	0
44	Carmo do Cajuru	12:30:00	103	500	Acidente c/ Vítima Ilesa	3.COLISÃO LATERAL	SECA	INCLINADO	2	0	0
45	Passos	08:40:00	353	500	Acidente c/ Vítima Ferida	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	1	1	0
46	São Sebastião do Paraíso	07:20:00	650	800	Acidente c/ Vítima Ferida	9.CAPOTAMENTO	SECA	PLANO	0	2	0
47	Divinópolis	06:50:00	127	900	Acidente c/ Vítima Fatal	6.3.ATROP. CICLISTA	SECA	PLANO	1	0	1
48	São Sebastião do Paraíso	15:00:00	650	700	Acidente c/ Vítima Ferida	5.6.CHOQUE C/TALUDE	SECA	PLANO	0	1	0
49	São Sebastião do Paraíso	17:30:00	389	200	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.7.CHOQUE C/CANCELA	SECA	INCLINADO	1	0	0
50	Divinópolis	15:30:00	095	900	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.11.CHOQUE C/ OUTROS	SECA	PLANO	1	0	0
51	Passos	18:00:00	346	300	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	2	0	0
52	Passos	15:30:00	365	500	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	INCLINADO	5	0	0

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
53	São Sebastião do Paraíso	05:00:00	376	800	Acidente c/ Vítima Ferida	2.COLISÃO FRONTAL	SECA	INCLINADO	1	2	0
54	Divinópolis	01:00:00	086	900	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.11.CHOQUE C/ OUTROS	SECA	PLANO	1	0	0
55	Divinópolis	23:25:00	122	600	Acidente c/ Vítima Ferida	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	1	1	0
56	Divinópolis	17:00:00	097	700	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	3	0	0
57	São Sebastião do Paraíso	15:10:00	002	900	Acidente c/ Vítima Ilesa	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	5	0	0
58	Divinópolis	19:50:00	096	200	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.8.CHOQUE C/VEÍC. PISTA	SECA	PLANO	2	0	0
59	Divinópolis	18:00:00	077	900	Acidente c/ Vítima Ilesa	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	2	0	0
60	Passos	18:30:00	372	300	Acidente c/ Vítima Ferida	7.ATROP.DE ANIMAL	SECA	PLANO	0	1	0
61	Passos	20:15:00	372	500	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	2	0	0
62	São Sebastião do Paraíso	11:45:00	004	500	Acidente c/ Vítima Ilesa	9.CAPOTAMENTO	SECA	INCLINADO	1	0	0
63	Carmo do Cajuru	07:40:00	102	800	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.6.CHOQUE C/TALUDE	SECA	INCLINADO	1	0	0
64	São Sebastião do Paraíso	17:15:00	647	500	Acidente c/ Vítima Ferida	3.COLISÃO LATERAL	SECA	INCLINADO	5	1	0
65	São Sebastião do Paraíso	10:25:00	389	200	Acidente c/ Vítima Ilesa	8.TOMBAMENTO	SECA	DEPRESSÃO	1	0	0
66	Piumhi	19:10:00	261	000	Acidente c/ Vítima Ferida	5.5.CHOQUE C/ELE. DRENAGEM	SECA	INCLINADO	4	1	0

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
67	Passos	03:20:00	352	200	Acidente c/ Vítima Ferida	5.11.CHOQUE C/ OUTROS	SECA	INCLINADO	0	1	0
68	Passos	16:28:00	372	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	3	0	0
69	São Sebastião do Paraíso	16:45:00	383	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	7.ATROP.DE ANIMAL	SECA	INCLINADO	1	0	0
70	Divinópolis	15:40:00	094	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	11.8.QUEDA EM RIBANCEIRA	SECA	PLANO	1	0	0
71	Piumhi	06:55:00	311	000	Acidente c/ Vítima Ferida	9.CAPOTAMENTO	SECA	PLANO	1	3	0
72	São Sebastião do Paraíso	02:20:00	001	300	Acidente c/ Vítima Ilesa	7.ATROP.DE ANIMAL	SECA	INCLINADO	22	0	0
73	São Sebastião do Paraíso	05:00:00	640	400	Acidente c/ Vítima Ferida	5.6.CHOQUE C/TALUDE	SECA	INCLINADO	0	1	0
74	Carmo do Cajuru	07:40:00	108	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	NÃO INFORMADO	NÃO INFORMADO	5	0	0
75	Divinópolis	09:40:00	133	000	Acidente c/ Vítima Ferida	5.6.CHOQUE C/TALUDE	SECA	INCLINADO	1	1	0
76	Divinópolis	14:20:00	121	000	Acidente c/ Vítima Ferida	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	INCLINADO	1	1	0
77	São Sebastião do Paraíso	12:20:00	367	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.6.CHOQUE C/TALUDE	SECA	PLANO	1	0	0
78	Passos	05:50:00	333	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.7.CHOQUE C/CANCELA	NÃO INFORMADO	NÃO INFORMADO	1	0	0

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
79	Divinópolis	01:30:00	142	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.11.CHOQUE C/ OUTROS	NÃO INFORMADO	NÃO INFORMADO	4	0	0
80	Divinópolis	08:50:00	120	000	Acidente c/ Vítima Ferida	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	4	1	0
81	São Sebastião do Paraíso	23:15:00	642	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	INCLINADO	3	0	0
82	Carmo do Cajuru	10:05:00	110	000	Acidente c/ Vítima Ferida	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	INCLINADO	1	1	0
83	Passos	20:20:00	343	500	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.5.CHOQUE C/ELE. DRENAGEM	SECA	LOMBADA	2	0	0
84	Piumhi	06:45:00	266	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	3.COLISÃO LATERAL	NÃO INFORMADO	NÃO INFORMADO	2	0	0
85	Divinópolis	18:10:00	125	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	INCLINADO	41	0	0
86	Piumhi	05:55:00	326	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.11.CHOQUE C/ OUTROS	SECA	PLANO	1	0	0
87	Piumhi	17:10:00	275	000	Acidente c/ Vítima Ferida	11.2.QUEDA	SECA	PLANO	0	1	0
88	São Sebastião do Paraíso	15:50:00	649	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.3.CHOQUE C/ SINALIZ.	SECA	INCLINADO	1	0	0
89	Carmo do Cajuru	14:15:00	117	000	Acidente c/ Vítima Ferida	11.2.QUEDA	SECA	PLANO	0	1	0
90	Piumhi	17:55:00	314	000	Acidente c/ Vítima Ferida	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	0	3	0
91	Divinópolis	01:50:00	119	000	Acidente c/ Vítima Ferida	5.4.CHOQUE C/DEFENSA	SECA	INCLINADO	2	3	0

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
92	Passos	18:25:00	330	000	Acidente c/ Vítima Ferida	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	2	1	0
93	Piumhi	14:38:00	314	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	5	0	0
94	Piumhi	16:27:00	297	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	2	0	0
95	Passos	06:40:00	330	800	Acidente c/ Vítima Ferida	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	2	2	0
96	São Sebastião do Paraíso	14:45:00	402	200	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	LOMBADA	2	0	0
97	Divinópolis	09:10:00	159	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	9.CAPOTAMENTO	SECA	INCLINADO	1	0	0
98	Divinópolis	09:15:00	127	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.4.CHOQUE C/DEFENSA	SECA	INCLINADO	3	0	0
99	Passos	09:10:00	347	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.11.CHOQUE C/ OUTROS	SECA	PLANO	1	0	0
100	Piumhi	21:25:00	260	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	7.ATROP.DE ANIMAL	NÃO INFORMADO	NÃO INFORMADO	1	0	0
101	Piumhi	10:21:00	298	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	7.ATROP.DE ANIMAL	SECA	INCLINADO	2	0	0
102	Divinópolis	20:00:00	094	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.6.CHOQUE C/TALUDE	SECA	INCLINADO	1	0	0
103	Piumhi	09:40:00	264	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	2	0	0
104	São Sebastião do Paraíso	03:00:00	401	000	Acidente c/ Vítima Ferida	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	INCLINADO	1	2	0

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
105	Divinópolis	17:00:00	098	000	Acidente c/ Vítima Fatal	2.COLISÃO FRONTAL	SECA	PLANO	1	0	1
106	Divinópolis	09:30:00	089	000	Acidente c/ Vítima Ferida	3.COLISÃO LATERAL	SECA	INCLINADO	2	1	0
107	Piumhi	11:15:00	282	000	Acidente c/ Vítima Fatal	2.COLISÃO FRONTAL	SECA	INCLINADO	1	1	2
108	Divinópolis	16:30:00	086	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	2	0	0
109	Passos	12:00:00	372	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	3	0	0
110	Passos	13:20:00	333	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.3.CHOQUE C/ SINALIZ.	NÃO INFORMADO	NÃO INFORMADO	1	0	0
111	Divinópolis	18:50:00	091	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	5.8.CHOQUE C/VEÍC. PISTA	SECA	PLANO	3	0	0
112	Divinópolis	21:50:00	087	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	2	0	0
113	Divinópolis	19:30:00	085	000	Acidente c/ Vítima Ferida	3.COLISÃO LATERAL	SECA	INCLINADO	1	1	0
114	Piumhi	10:15:00	261	000	Acidente c/ Vítima Ferida	5.3.CHOQUE C/ SINALIZ.	SECA	INCLINADO	0	1	0
115	Piumhi	15:00:00	261	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	11.9.OUTROS	SECA	INCLINADO	2	0	0
116	Azurita	19:00:00	059	000	Acidente c/ Vítima Ferida	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	1	2	0
117	Divinópolis	07:45:00	122	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	2	0	0

Item	Base	Hora	km	Metros	Descrição BO	Tipo de Acidente ABNT	Superfície da Pista	Relevo da Pista	Nº de Ilesos	Nº de Feridos	Nº de Fatais
118	Piumhi	11:15:00	284	000	Acidente c/ Vítima Ferida	8.TOMBAMENTO	SECA	PLANO	0	1	0
119	São Sebastião do Paraíso	19:45:00	651	000	Acidente c/ Vítima Ferida	5.6.CHOQUE C/TALUDE	SECA	INCLINADO	0	1	0
120	Divinópolis	19:50:00	126	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	4	0	0
121	Divinópolis	13:05:00	120	000	Acidente c/ Vítima Ilesa	4.COLISÃO TRANSV.	SECA	PLANO	2	0	0
122	São Sebastião do Paraíso	16:35:00	389	000	Acidente c/ Vítima Ferida	8.TOMBAMENTO	SECA	INCLINADO	0	1	0
123	São Sebastião do Paraíso	20:35:00	638	000	Acidente c/ Vítima Ferida	3.COLISÃO LATERAL	SECA	PLANO	0	2	0
124	Divinópolis	17:55:00	120	000	Acidente c/ Vítima Ferida	1.COLISÃO TRASEIRA	SECA	PLANO	1	1	0

Tabela A – 2: Banco de dados utilizado e agrupamentos realizados.

km Inicial	km Final	Comprimento	Acidentes 2010	Acidentes 2011	Acidentes 2012	Total de Acidentes	Velocidade	Tipo de Pista 2010	Tipo de Pista 2011	Tipo de Pista 2012	Tipo de Terreno	Raio de Curva	Perímetro Urbano	Existe Interseção ?	Quantidade de Acesso	Sinalização Adequada?	Volume 2010	Volume 2011	Volume 2012	Greide	Largura de Faixa	Largura de Acostamento
212,5	213	0,5	0	2	0	2	80	S	S	S	O	599,25	Não	Não	0	Sim	94931	98799	97710	3,6615	3,3	1,5
213	213,5	0,5	2	1	2	5	80	S	S	S	M	1203,72	Não	Não	0	Sim	97164	97970	114627	5,016	3,3	1,5
213,5	214,5	1	1	2	4	7	80	S	S	S	O	0	Não	Não	0	Sim	94066	96854	105639	3,068	3,3	1,5
214,5	215	0,5	0	1	2	3	80	S	S	S	P	0	Não	Não	0	Sim	93917	97040	106761	1,923	3,3	1,2
215	215,5	0,5	1	3	4	8	80	S	S	S	M	1280,99	Não	Não	0	Sim	95728	99376	108725	-6,115	3,3	1,5
215,5	216	0,5	0	0	0	0	80	S	S	S	P	0	Não	Não	0	Sim	96353	99152	97677	-1,758	3,3	1,5
216	217	1	2	2	1	5	80	S	S	S	M	245,43	Não	Tipo Gota	2	Sim	94653	98370	101989	4,944	3,5	1,5
217	217,5	0,5	0	3	2	5	60	S	S	S	O	0	Não	Não	0	Sim	97317	95516	109579	3,747	3,5	1,5
217,5	219,5	2	2	1	1	4	80	S	S	S	M	702,63	Não	Não	1	Não	96960	99079	107552	4,992	3,5	1,5
219,5	220	0,5	0	0	0	0	60	S	S	S	O	0	Não	Não	0	Não	95987	99407	99929	-2,842	3,3	1,5
220	221,5	1,5	0	2	9	11	60	S	S	S	M	250,67	Não	Não	0	Sim	96994	97321	106714	-6,04	3,3	1,5
221,5	222	0,5	0	0	3	3	60	S	S	S	O	266,41	Não	Não	0	Não	97125	97222	110961	2,564	3,5	1,5
222	222,5	0,5	0	1	0	1	60	S	S	S	P	509,48	Não	Não	0	Sim	94654	96213	102396	0,912	3,5	1,5
222,5	223	0,5	0	0	1	1	60	S	S	S	M	0	Não	Não	0	Sim	95651	98132	105689	5,233	3,5	1,5
223	223,5	0,5	0	1	0	1	60	S	S	S	O	433,92	Não	Não	0	Sim	94813	98518	107532	-3,063	3,5	1,5
223,5	224,5	1	0	1	2	3	60	S	S	S	M	238,86	Não	Não	0	Sim	96109	97610	99640	5,4505	3,5	1,5

km Inicial	km Final	Comprimento	Acidentes 2010	Acidentes 2011	Acidentes 2012	Total de Acidentes	Velocidade	Tipo de Pista 2010	Tipo de Pista 2011	Tipo de Pista 2012	Tipo de Terreno	Raio de Curva	Perímetro Urbano	Existe Interseção ?	Quantidade de Acesso	Sinalização Adequada?	Volume 2010	Volume 2011	Volume 2012	Greide	Largura de Faixa	Largura de Acostamento
224,5	225	0,5	0	0	0	0	60	S	S	S	O	848,85	Não	Não	1	Não	94661	96070	103257	2,003	3,5	1,5
225	225,5	0,5	0	0	0	0	60	S	S	S	P	0	Não	Não	0	Sim	93991	96780	101919	1,965	3,5	1,5
225,5	228	2,5	1	7	13	21	60	S	S	S	M	292,96	Não	Não	0	Sim	95968	97161	101546	4,9476	3,5	1,5
228	228,5	0,5	7	11	17	35	60	S	S	S	O	262,33	Não	Não	1	Não	95674	99772	97866	2,785	3,5	1,5
228,5	229	0,5	0	1	3	4	60	S	S	S	P	696,12	Não	Não	1	Sim	95309	96404	99573	0,656	3,5	1,2
229	229,5	0,5	1	0	1	2	60	S	S	S	O	858,34	Não	Não	0	Não	93133	96506	102491	-2,611	3,5	1,2
229,5	230	0,5	0	1	0	1	60	S	S	S	P	0	Não	Não	0	Sim	93952	95820	100941	0,896	3,5	1,2
230	231,5	1,5	1	2	0	3	80	S	S	S	O	714,75	Não	Não	1	Não	94137	96704	101631	2,862	3,5	1,5
231,5	232	0,5	0	1	0	1	80	S	S	S	P	0	Não	Não	1	Sim	95233	96725	106390	-0,762	3,5	1,5
232	232,5	0,5	2	0	0	2	80	S	S	S	O	0	Não	Não	0	Sim	95015	95903	107306	3,984	3,3	1,2
232,5	235	2,5	1	1	2	4	80	S	S	S	M	499,02	Não	Não	2	Não	96188	98473	102755	-5,893	3,3	1,2
235	235,5	0,5	1	0	0	1	80	S	S	S	P	0	Não	Não	1	Não	95408	99840	95960	0,862	3,5	1,5
235,5	236	0,5	0	0	2	2	80	S	S	S	O	772,73	Não	Não	0	Não	96105	98064	109519	2,123	3,5	1,5
236	236,5	0,5	0	1	0	1	80	S	S	S	M	872,96	Não	Não	0	Não	96773	97427	110717	-6,119	3,5	1,5
236,5	237	0,5	0	0	0	0	80	S	S	S	O	0	Não	Não	1	Não	95084	97719	97199	2,716	3,5	1,5
237	237,5	0,5	2	0	0	2	80	S	S	S	P	719,48	Não	Não	0	Não	95954	96980	99609	-1,072	3,5	1,5
237,5	238	0,5	0	0	1	1	80	S	S	S	M	0	Não	Não	0	Não	97792	96988	105273	-5,529	3,3	1,2
238	239	1	0	0	0	0	80	S	S	S	O	0	Não	Não	1	Não	97581	10718	102316	2,794	3,3	1,2
239	240	1	0	0	1	1	60	S	S	S	M	0	Não	Não	0	Não	97870	11049	100816	5,161	3,5	1,5

km Inicial	km Final	Comprimento	Acidentes 2010	Acidentes 2011	Acidentes 2012	Total de Acidentes	Velocidade	Tipo de Pista 2010	Tipo de Pista 2011	Tipo de Pista 2012	Tipo de Terreno	Raio de Curva	Perímetro Urbano	Existe Interseção ?	Quantidade de Acesso	Sinalização Adequada?	Volume 2010	Volume 2011	Volume 2012	Greide	Largura de Faixa	Largura de Acostamento
240	240,5	0,5	0	0	2	2	50	S	S	S	P	0	Não	Acesso à Pains	1	Sim	99610	99239	102549	-1,581	3,5	1,5
240,5	245	4,5	5	2	10	17	70	S	S	S	M	1662,12	Pimenta	Rotatória Vazada	4	Não	99548	103615	103310	4,175556	3,5	1,5
245	245,5	0,5	1	1	1	3	80	S	S	S	O	0	Não	Não	0	Não	97224	100258	109928	3,463	3,5	1,5
245,5	246,5	1	0	1	2	3	80	S	S	S	P	0	Não	Não	1	Não	98889	99724	104781	-1,794	3,5	1,5
246,5	247	0,5	0	0	0	0	80	S	S	S	M	0	Não	Não	0	Não	99683	101426	99671	4,169	3,5	1,5
247	247,5	0,5	0	0	0	0	80	S	S	S	P	0	Não	Não	1	Sim	95320	98490	106508	-0,498	3,5	1,5
247,5	248,5	1	0	0	2	2	80	S	S	S	M	0	Não	Não	0	Não	94148	101823	106408	-5,036	3,5	1,5
248,5	249	0,5	0	0	0	0	80	S	S	S	P	0	Não	Não	1	Sim	97273	99522	110833	1,637	3,5	1,5
249	249,5	0,5	0	1	1	2	80	S	S	S	M	0	Não	Não	1	Não	93876	10148	95927	4,866	3,5	1,5
249,5	250	0,5	0	0	0	0	80	S	S	S	O	0	Não	Não	0	Não	93212	102047	110862	2,281	3,5	1,5
250	250,5	0,5	1	0	1	2	80	S	S	S	P	0	Não	Não	0	Sim	93090	102120	110568	0,789	3,5	1,5
250,5	251,5	1	0	0	3	3	60	S	S	S	M	686,86	Não	Não	1	Não	94623	98479	102396	-6,153	3,5	1,5
251,5	252	0,5	0	4	8	12	60	S	S	S	O	190,93	Não	Não	0	Sim	97228	96891	101915	-3,775	3,5	1,5
252	254,5	2,5	2	5	5	12	60	S	S	S	M	235,57	Não	Não	4	Não	95635	97380	106280	-4,941	3,3	1,2

km Inicial	km Final	Comprimento	Acidentes 2010	Acidentes 2011	Acidentes 2012	Total de Acidentes	Velocidade	Tipo de Pista 2010	Tipo de Pista 2011	Tipo de Pista 2012	Tipo de Terreno	Raio de Curva	Perímetro Urbano	Existe Interseção ?	Quantidade de Acesso	Sinalização Adequada?	Volume 2010	Volume 2011	Volume 2012	Greide	Largura de Faixa	Largura de Acostamento
254,5	255	0,5	0	0	3	3	60	S	S	S	O	173,55	Não	Não	0	Não	97386	97042	109596	-2,79	3,3	1,2
255	258,5	3,5	5	4	6	15	80	S	S	S	M	340,53	Não	Não	3	Não	96117	98107	102377	4,17885 71	3,5	1,5
258,5	259	0,5	0	0	0	0	80	S	S	S	P	0	Não	Não	0	Não	93763	99370	97462	1,319	3,3	1,2
259	259,5	0,5	0	0	2	2	80	S	S	S	O	0	Não	Não	1	Não	93750	99167	104411	-2,658	3,3	1,2
259,5	260	0,5	0	1	0	1	60	S	S	S	P	655,19	Não	Não	2	Não	10373 2	98451	107113	-0,357	3,3	1,2
260	262	2	11	14	25	50	60	S	S	S	M	280,7	Não	Acesso à Divinópolis	5	Não	10063 4	96483	102777	4,329	3,5	1,5
262	262,5	0,5	1	1	1	3	60	S	S	S	P	0	Não	Não	0	Sim	10146 3	99488	99481	-1,216	3,5	1,5
262,5	263,5	1	1	2	5	8	60	S	S	S	M	323,53	Piumhi	Não	2	Não	99800	98096	106773	6,0695	3,5	1,5
263,5	264	0,5	0	6	4	10	60	S	S	S	O	277,59	Piumhi	Não	0	Sim	98074	99404	96448	3,455	3,5	1,5

APÊNDICE B – ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELOS

km Inicial	km Final	Observado (2010)	MPA 2010	MPA HSM 2010	Observado (2011)	MPA 2010 (com variáveis 2011)	MPA HSM 2010 (com variáveis 2011)	Observado (2012)	MPA 2010 (com variáveis 2012)	MPA HSM 2010 (com variáveis 2012)
246,5	247	0	0	1	0	0	1	0	0	1
249	249,5	0	0	1	1	0	1	1	0	1
225	225,5	0	0	1	0	0	1	0	0	1
260	262	11	17	4	14	18	4	25	20	5
239	240	0	0	2	0	0	2	1	0	2
252	254,5	2	1	5	5	1	6	5	1	6
232,5	235	1	1	5	1	1	6	2	1	6
223	223,5	0	0	1	1	0	1	0	0	1
237	237,5	2	1	1	0	1	1	0	1	1
247,5	248,5	0	0	2	0	0	2	2	0	2
214,5	215	0	0	1	1	0	1	2	0	1
235,5	236	0	0	1	0	1	1	2	1	1
237,5	238	0	0	1	0	0	1	1	0	1
258,5	259	0	0	1	0	0	1	0	0	1
236	236,5	0	0	1	1	1	1	0	1	1
254,5	255	0	0	1	0	0	1	3	0	1
263,5	264	0	0	1	6	1	1	4	1	1
240,5	242	0	1	3	0	2	3	2	2	4
255	258,5	5	5	7	4	5	8	6	6	8

km Inicial	km Final	Observado (2010)	MPA 2010	MPA HSM 2010	Observado (2011)	MPA 2010 (com variáveis 2011)	MPA HSM 2010 (com variáveis 2011)	Observado (2012)	MPA 2010 (com variáveis 2012)	MPA HSM 2010 (com variáveis 2012)
221,5	222	0	0	1	0	1	1	3	1	1
245	245,5	1	0	1	1	0	1	1	0	1
229	229,5	1	1	1	0	1	1	1	1	1
245,5	246,5	0	0	2	1	0	2	2	0	2
216	217	2	4	2	2	4	2	1	5	2
235	235,5	1	0	1	0	0	1	0	0	1
228,5	229	0	0	1	1	0	1	3	1	1
247	247,5	0	0	1	0	0	1	0	0	1
262	262,5	1	0	1	1	0	1	1	0	1
225,5	228	1	1	5	7	2	6	13	2	6
249,5	250	0	0	1	0	0	1	0	0	1
215,5	216	0	0	1	0	0	1	0	0	1
213,5	214,5	1	0	2	2	0	2	4	0	2
222	222,5	0	0	1	1	0	1	0	0	1
212,5	213	0	0	1	2	1	1	0	1	1
231,5	232	0	0	1	1	0	1	0	0	1
229,5	230	0	0	1	1	0	1	0	0	1
251,5	252	0	0	1	4	0	1	8	0	1
248,5	249	0	0	1	0	0	1	0	0	1
219,5	220	0	0	1	0	0	1	0	0	1
240	240,5	0	0	1	0	0	1	2	0	1
217,5	219,5	2	5	4	1	6	5	1	6	5

km Inicial	km Final	Observado (2010)	MPA 2010	MPA HSM 2010	Observado (2011)	MPA 2010 (com variáveis 2011)	MPA HSM 2010 (com variáveis 2011)	Observado (2012)	MPA 2010 (com variáveis 2012)	MPA HSM 2010 (com variáveis 2012)
217	217,5	0	0	1	3	0	1	2	0	1
222,5	223	0	0	1	0	0	1	1	0	1
238	239	0	0	2	0	0	2	0	0	2
259	259,5	0	0	1	0	0	1	2	0	1
262,5	263,5	1	8	2	2	9	2	5	10	2
228	228,5	7	1	1	11	1	1	17	1	1
250	250,5	1	0	1	0	0	1	1	0	1
232	232,5	2	0	1	0	0	1	0	0	1
259,5	260	0	0	1	1	1	1	0	1	1
230	231,5	1	1	3	2	1	3	0	1	4
213	213,5	2	2	1	1	2	1	2	2	1
236,5	237	0	0	1	0	0	1	0	0	1
250,5	251,5	0	0	2	0	1	2	3	1	2
220	221,5	0	0	3	2	0	3	9	0	4
242	244	4	0	4	1	0	5	6	1	5
224,5	225	0	0	1	0	1	1	0	1	1
215	215,5	1	1	1	3	1	1	4	1	1
223,5	224,5	0	0	2	1	1	2	2	1	2
244	245	1	0	2	1	0	2	2	0	2

APÊNDICE C – ANÁLISE DE VALIDAÇÃO DE MODELO

km Inicial	km Final	Comprimento	Acidentes 2010	Acidentes 2011	Acidentes 2012	Total de Acidentes	Velocidade	Tipo de Pista 2010	Tipo de Terreno	Raio de Curva	Perímetro Urbano	Existe Interseção ?	Quantidade de	Sinalização Adequada?	Volume 2010	Volume 2011	Volume 2012	Greide	Largura de Faixa	Largura de Acostamento
132	134	2	2	9	14	25	80	Simple	Montanhoso	248,8	Sim	Não	0	Não	2638	2717	2771	3,49	3,5	1,2
134	135	1	1	3	6	10	60	Simple	Plano	877,97	Não	Não	2	Não	2564	2641	2694	-1,69	3,5	1,2
135,5	136	0,5	1	6	1	8	80	Simple	Ondulado	0	Não	Não	0	Sim	2560	2637	2690	-2,56	3,5	1,5
136	137	1	1	2	9	12	80	Simple	Montanhoso	202,94	Não	Não	0	Sim	2561	2638	2691	-6,14	3,5	1,5
137	138	1	4	5	1	10	80	Simple	Ondulado	456,53	Não	Sim	3	Sim	2651	2731	2786	3,69	3,5	1,2
138	138,5	0,5	0	8	1	9	60	Simple	Montanhoso	599,25	Sim	Sim	2	Não	2541	2617	2669	-4,53	3,5	1,5
138,5	139	0,5	0	3	0	3	60	Simple	Plano	0	Não	Não	0	Sim	2635	2714	2768	0,74	3,3	1,2
139	139,5	0,5	1	1	3	5	80	Simple	Montanhoso	1203,72	Não	Não	0	Sim	2648	2727	2782	5,02	3,3	1,2
139,5	140	0,5	2	3	1	6	80	Simple	Ondulado	0	Não	Não	0	Sim	2584	2662	2715	2,86	3,3	1,2
140	140,5	0,5	0	0	5	5	60	Simple	Montanhoso	0	Não	Não	0	Não	2643	2722	2776	4,69	3,5	1,2
140,5	141	0,5	1	2	3	6	60	Simple	Plano	0	Não	Sim	1	Não	2632	2711	2765	1,92	3,5	1,5
141	141,5	0,5	1	0	4	5	80	Simple	Montanhoso	1280,99	Não	Não	0	Não	2649	2728	2783	6,12	3,5	1,2
141,5	142	0,5	0	0	2	2	80	Simple	Plano	0	Não	Não	0	Não	2536	2612	2664	-1,76	3,5	1,5
142	143	1	2	4	1	7	80	Simple	Montanhoso	0	Não	Sim	2	Não	2619	2698	2752	-5,79	3,5	1,2
143	143,5	0,5	1	6	4	11	80	Simple	Plano	0	Não	Sim	1	Não	2571	2648	2701	-1,39	3,5	1,2

APÊNDICE D – ANÁLISE DE RESÍDUOS ACUMULADOS

Resíduos	Res_Acum	Squar_Res	SSR(n)	σ^*	$2\sigma^*$	$-2\sigma^*$	Var(i)	razão
-0,6	-0,6	0,36	0,36	0,596731211	1,193462421	-1,193462421	3,359550562	9,332084894
0,2	-0,4	0,04	0,4	0,628625914	1,257251829	-1,257251829	0,871910112	21,79775281
1	0,6	1	1,4	1,157946078	2,315892155	-2,315892155	0	0
1	1,6	1	2,4	1,492025285	2,98405057	-2,98405057	0	0
0,8	2,4	0,64	3,04	1,661640878	3,323281756	-3,323281756	4,350561798	6,797752809
-4,3	-1,9	18,49	21,53	2,745619127	5,491238253	-5,491238253	6,37752809	0,34491769
0	-1,9	0	21,53	2,745619127	5,491238253	-5,491238253	0	0
0,4	-1,5	0,16	21,69	2,736730739	5,473461479	-5,473461479	0,640449438	4,002808989
2	0,5	4	25,69	2,401915927	4,803831854	-4,803831854	0	0
0	0,5	0	25,69	2,401915927	4,803831854	-4,803831854	0	0
1	1,5	1	26,69	2,277752346	4,555504692	-4,555504692	0	0
-1,2	0,3	1,44	28,13	2,0604361	4,1208722	-4,1208722	2,743820225	1,905430712
0	0,3	0	28,13	2,0604361	4,1208722	-4,1208722	0	0
2	2,3	4	32,13	0,984792301	1,969584603	-1,969584603	0	0
1	3,3	1	33,13	0	0	0	0	0