

Universidade Federal de Juiz de Fora
Faculdade de Engenharia
Mestrado em Ambiente Construído

Liércio Feital Motta Jr.

**Aplicação do Modelo de Previsão de Acidentes do *Highway Safety Manual* no
Perímetro Urbano Cortado por Rodovia de Mão Dupla e Pista Simples**

Juiz de Fora
2017

Liércio Feital Motta Jr.

**Aplicação do Modelo de Previsão de Acidentes de *Highway Safety Manual* no
Perímetro Urbano Cortado por Rodovia de Mão Dupla e Pista Simples**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ambiente Construído
da Universidade Federal de Juiz de Fora,
como requisito parcial à obtenção do título
de mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Alberto Barroso Castañon

Juiz de Fora
2017

Liércio Feital Motta Jr.

**Aplicação do Modelo de Previsão de Acidentes do *Highway Safety Manual* no
Perímetro Urbano Cortado por Rodovia de Mão Dupla e Pista Simples**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ambiente Construído
da Universidade Federal de Juiz de Fora,
como requisito parcial à obtenção do título
de mestre.

Aprovada em _____ de _____ de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Alberto Barroso Castañon - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Gomes Barbosa
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^o. Dr. Edgar Ricardo Ferreira
Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais

RESUMO

No presente trabalho, é realizada a aplicação do modelo de previsão de acidentes do Highway Safety Manual – HSM, publicado pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) no ano de 2010, à rodovia de mão dupla e pista simples, BR-116, que corta perímetros urbanos de cidades no segmento entre Caratinga e Leopoldina, Minas Gerais. Busca-se avaliar a pertinência de sua utilização como ferramenta de sistemas de gestão de segurança rodoviária. Foram coletados dados de acidentes ocorridos nos trechos de estudo referentes ao intervalo entre 2011-2015, dados sobre o volume de tráfego, além de dados geométricos da via e das suas características ambientais. Foram analisadas as aplicações do modelo em sua condição base, calibrada e refinada pelo método empírico de Bayes. Como resultado da aplicação na condição base observou-se uma discrepância entre os valores de acidentes ocorridos e previstos pelo modelo, inviabilizando a utilização direta desta aplicação. A aplicação do modelo calibrado apresentou resultados mais próximos aos reais valores de acidentes, porém ainda não sendo possível a sua utilização como modelo de previsão de acidentes. No entanto, os valores obtidos pela aplicação do modelo do HSM refinado pelo método empírico de Bayes aproximam-se de maneira satisfatória dos valores de acidentes reais ocorridos, permitindo agora a sua utilização como modelo de previsão de acidentes, tendo sua aplicação como ferramenta de sistemas de gestão de segurança rodoviária. Apesar de ainda serem necessários estudos para melhoria da calibração e da condição base, às características específicas presentes no ambiente do perímetro urbano cortado por rodovias, o modelo aplicado neste trabalho pode ser utilizado como modelo de previsão de acidentes para estes trechos.

Palavras-chave: acidentes, modelo de previsão de acidentes, perímetro urbano de rodovias de mão dupla e pista simples.

ABSTRACT

In the present work, the Highway Safety Manual - HSM, published by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), is applied to the double-lane and single-lane highway BR-116, which cuts urban in the segment between Caratinga and Leopoldina, Minas Gerais. The aim of this study was to evaluate the pertinence of its use as a tool for road safety management systems. Data were collected on accidents occurring in the study sections referring to the interval between 2011-2015, data on traffic volume, as well as geometric data of the road and their environmental characteristics. The applications of the model were analyzed in their base condition, calibrated and refined by Bayes' empirical method. As a result of the application in the base condition it was observed a discrepancy between the values of accidents occurred and foreseen by the model, making it impossible to use this application directly. The application of the calibrated model presented results closer to the actual values of accidents, but it is not yet possible to use them as an accident prediction model. However, the values obtained by applying the HSM model refined by the empirical method of Bayes approach satisfactorily the values of real accidents occurred, allowing now its use as an accident prediction model, having its use as a tool of systems of road safety management. Although still necessary studies to improve the calibration and the base condition, to the specific characteristics present in the environment of the urban perimeter cut by highways, the model applied in this work can be used as a predictive model of accidents for these stretches.

Keywords: accidents, accident prediction model, urban perimeter of two-way highways and single runway.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de aplicação do método de previsão do HSM.....	35
Figura 2 – Arquivo <i>Comma Separated Values</i> com dados de acidentes registrados no Departamento de Polícia Rodoviária Federal	47
Figura 3 – Planilha eletrônica dos dados de acidentes registrados no Departamento de Polícia Rodoviária Federal referentes ao primeiro trimestre de 2015.....	49
Figura 4 – Planilha eletrônica dos dados de acidentes registrados no Departamento de Polícia Rodoviária Federal referentes ao quarto trimestre de 2015.....	50
Figura 5 – Planilha eletrônica com dados de acidentes registrados no Departamento de Polícia Rodoviária Federal organizados e com filtros.....	52
Figura 6 – Linha do tempo do Plano Nacional de Contagem de Tráfego	62
Figura 7 – Posição dos pontos de coleta dos dados volumétricos do Plano Nacional de Contagem de Tráfego utilizados no estudo	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Acidentes por trecho de 2011 a 2015	60
Gráfico 2 – Distribuição percentual total de acidentes por tipo de severidade na BR-116, referentes ao período de 2011 a 2014	69
Gráfico 3 – Severidade dos acidentes na BR-116, referentes ao período de 2011 a 2014	71
Gráfico 4 – Comparação entre as aplicações do HSM e o número de acidentes de 2015.....	94
Gráfico 5 – Número de acidentes previstos calibrado <i>versus</i> número de acidentes ocorridos em 2015.....	104
Gráfico 6 – Número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes <i>versus</i> número de acidentes de 2015	105
Gráfico 7 – Número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes <i>versus</i> CMF ₅	106
Gráfico 8 – Número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes <i>versus</i> CMF ₈	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cidades cortadas pela BR-116.....	44
Quadro 2 – Correlação entre as nomenclaturas apresentadas pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal e pelo Highway Safety Manual	54
Quadro 3 – Trechos de estudos para aplicação da metodologia do Highway Safety Manual	57
Quadro 4 – Dados necessários para a calibração do modelo de previsão de acidentes para rodovias de mão dupla e pista simples do HSM.....	72
Quadro 5 – Resultado do teste de distribuição normal	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Quantitativo de acidentes, feridos e mortos, valores absolutos nas rodovias federais: 2010 a 2015	22
Tabela 2 –	Acidentes registrados no Departamento de Polícia Rodoviária Federal, na BR–116, referentes ao período de 2011 a 2015	58
Tabela 3 –	Valores médio de acidentes por trecho de 2011 a 2014	61
Tabela 4 –	Associação dos trechos e pontos de coleta de dados volumétricos do Plano Nacional de Contagem de Tráfego	63
Tabela 5 –	Resultado da aplicação do HSM na condição base e o número de acidentes ocorridos em 2015	65
Tabela 6 –	Distribuição percentual da frequência de acidentes em rodovias de pista simples por severidade (AASHTO, 2010, adaptado)	67
Tabela 7 –	Distribuição percentual de acidentes por tipo de severidade (AASHTO, 2010)	67
Tabela 8 –	Valores de ρ_{ra}	70
Tabela 9 –	CMF_{ra} Influência da largura da faixa de rolamento em segmentos de rodovia de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado)	74
Tabela 10 –	Valores de CMF_1	74
Tabela 11 –	CMF_{wra} Influência da largura do acostamento em segmentos de rodovia de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado)	76
Tabela 12 –	CMF_{tra} Influência do tipo de revestimento do acostamento em segmentos de rodovia de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado) ..	76
Tabela 13 –	Valores de CMF_2	77
Tabela 14 –	Valores de CMF_3	78

Tabela 15 – Valores de CMF_4 para cada um dos trechos de estudo	79
Tabela 16 – CMF_{r5} Influência greide no número de acidentes em segmentos de rodovia de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado)	80
Tabela 17 – Valores de CMF_5 para cada um dos trechos de estudo	80
Tabela 18 – Acessos de entrada e saída em ambos os sentidos da rodovia.....	81
Tabela 19 – Valores de CMF_6	82
Tabela 20 – Resultados do CMF_7 para os trechos estudados	82
Tabela 21 – Resultados do CMF_8 para os trechos estudados	83
Tabela 22 – Resultados do CMF_9 para os trechos estudados	84
Tabela 23 – Descrição dos sete índices de obstáculos laterais (AASHTO, 2010, adaptado)	85
Tabela 24 – Resultados da mensuração do índice de obstáculos laterais e o cálculo do CMF_{10}	85
Tabela 25 – Proporção de acidentes noturnos em segmentos não iluminados de rodovias de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado)	86
Tabela 26 – Resultados do CMF_{11} para os trechos estudados	87
Tabela 27 – Resultados do CMF_{12} para os trechos estudados	87
Tabela 28 – Resultados do valor de Cr para cada um dos trechos estudados	88
Tabela 29 – Resultados do modelo calibrado do HSM e o número de acidentes em 2015.	89
Tabela 30 – Resultados da aplicação do método empírico de Bayes.....	91
Tabela 31 – Resultados da aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM	92

Tabela 32 – Resultados das aplicações do modelo de previsão do HSM, na condição base, no calibrado, no refinado pelo método empírico de Bayes e o valor de acidentes ocorridos em 2015.....	93
Tabela 33 – Percentuais da diferença entre a aplicação do método empírico de bayes e o número de acidentes ocorrido em 2015 e a extensão de cada um dos trechos.....	96
Tabela 34 – Erros de acidentes para cada uma das aplicações e os valores de acidentes em 2015.....	97
Tabela 35 – Valores de CMFs	98
Tabela 36 – Resultados dos testes de correlação de variáveis	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AMFs	Accident Modification Factors (Fatores de Modificação de Acidentes)
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
CMFs	Crash Modification Factors (Fatores de Modificação de Acidentes)
CR	Calibração Regional
CSV	Comma Separated Values
DD	Densidade de Acessos
Denatran	Departamento Nacional de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DPRF	Departamento da Polícia Rodoviária Federal
DPVAT	Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre
EB	Empírico de Bayes
HSM	Highway Safety Manual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IML	Instituto Médico Legal
IPCA	Índice de Preço ao Consumidor Amplo
Ipea	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LW	Largura da faixa de rolamento
MPA	Modelos de Previsão de Acidente
MG	Minas Gerais
ONU	Organização das Nações Unidas
PDAG	Programa Dados Abertos Governamentais
PESA	Funções de Desempenho de Segurança
PNCT	Plano Nacional de Contagem de Tráfego
PRF	Polícia Rodoviária Federal
RHR	Roadside Hazard Rating
RJ	Rio de Janeiro
SPF	Safety Performance Function
SPMs	Modelos de Desempenho da Segurança
SW	Largura do Acostamento
VDMA	Volume Diário Médio Anual

VMD

Volume Médio Diário

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO.....	19
1.2	METODOLOGIA.....	19
1.3	CONDIÇÕES DE CONTORNO	20
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
2	AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA RODOVIÁRIA	22
2.1	PANORAMA DA SEGURANÇA RODOVIÁRIA.....	22
2.2	MENSURAÇÃO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO.....	23
2.3	CUSTOS DOS ACIDENTES	24
2.3.1	Custos associados às pessoas.....	26
2.3.2	Custos associados aos veículos	26
2.3.3	Custos institucionais	27
2.3.4	Custos associados à via e ao ambiente do local de acidente	27
2.3.5	Outros custos “não valorados”	28
2.4	A TEORIZAÇÃO SOBRE ACIDENTES DE TRÂNSITO.....	29
2.5	MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES.....	31
2.6	<i>HIGHWAY SAFETY MANUAL.....</i>	<i>32</i>
2.6.1	Modelo de previsão de acidentes para rodovias de pista simples do HSM	34
2.6.1.1	<i>Definição dos limites e tipo de análise.....</i>	<i>35</i>
2.6.1.2	<i>Definição do período de análise</i>	<i>36</i>
2.6.1.3	<i>Determinação do volume diário médio anual</i>	<i>37</i>
2.6.1.4	<i>Determinação das condições de geometria</i>	<i>37</i>
2.6.1.5	<i>Divisão da rodovia em trechos homogêneos.....</i>	<i>39</i>
2.6.1.6	<i>Atribuição do histórico de acidentes para locais específicos.....</i>	<i>39</i>
2.6.1.7	<i>Aplicação da função original do Highway Safety Manual (Safety Performance Function)</i>	<i>40</i>
2.6.1.8	<i>Aplicação dos fatores de modificação de acidentes.....</i>	<i>40</i>
2.6.1.9	<i>Aplicação do fator de calibração regional.....</i>	<i>41</i>
2.6.1.10	<i>Aplicação do método empírico de Bayes</i>	<i>42</i>

3	METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO HSM	43
3.1	LOCAL DO ESTUDO	43
3.2	COLETA DOS DADOS.....	45
3.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS	46
3.4	ANÁLISE DE DADOS COLETADOS.....	53
3.5	APLICAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE ACIDENTES.....	54
4	APLICAÇÃO DO MODELO DO HIGHWAY SAFETY MANUAL	56
4.1	APLICAÇÃO DO MODELO DO HIGHWAY SAFETY MANUAL PARA A CONDIÇÃO BASE (<i>SAFETY PERFORMANCE FUNCTIONS</i>)	56
4.1.1	Escolha dos trechos homogêneos	57
4.1.2	Histórico de acidentes	58
4.1.3	Volume diário médio anual	61
4.1.4	Aplicação da equação	65
4.2	APLICAÇÃO DO MODELO HIGHWAY SAFETY MANUAL CALIBRADO.....	65
4.2.1	Determinação da distribuição dos acidentes por tipo e severidade....	67
4.2.2	Determinação dos Fatores de Modificação de Acidentes (Crash Modification Factors)	71
4.2.2.1	<i>Largura da faixa de rolamento– CMF₁.....</i>	<i>73</i>
4.2.2.2	<i>Largura e tipo de revestimento do acostamento– CMF₂</i>	<i>75</i>
4.2.2.3	<i>Parâmetros da curva horizontal (desenvolvimento, raio e presença de espiral) – CMF₃.....</i>	<i>77</i>
4.2.2.4	<i>Superelevação da curva horizontal– CMF₄</i>	<i>78</i>
4.2.2.5	<i>Greides – CMF₅.....</i>	<i>79</i>
4.2.2.6	<i>Densidade de acessos– CMF₆.....</i>	<i>80</i>
4.2.2.7	<i>Guia sonora central– CMF₇.....</i>	<i>82</i>
4.2.2.8	<i>Faixa adicional – CMF₈</i>	<i>83</i>
4.2.2.9	<i>Faixa de acomodação central para conversão à esquerda– CMF₉.....</i>	<i>83</i>
4.2.2.10	<i>Lateral da via – CMF₁₀.....</i>	<i>84</i>
4.2.2.11	<i>Iluminação– CMF₁₁.....</i>	<i>86</i>
4.2.2.12	<i>Fiscalização eletrônica – CMF₁₂.....</i>	<i>87</i>
4.2.3	Fator de Calibração Regional	88

4.2.4	Aplicação da equação do modelo Highway Safety Manual calibrado.....	88
4.3	APLICAÇÃO DO MÉTODO EMPÍRICO DE BAYES AO MODELO DO HIGHWAY SAFETY MANUAL.....	89
5	ANÁLISES E RESULTADOS.....	92
5.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	101
6	CONCLUSÕES	107
	REFERÊNCIAS.....	109
	APÊNDICES.....	113

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito são uma das principais causas de mortes e lesões em todo o mundo. As lesões derivadas deles constituem um grave problema de saúde pública, além de, juntamente com as mortes, provocarem enormes custos sociais e econômicos para indivíduos, famílias, comunidades e governos (OPAS, 2012). A preocupação com o controle e redução dos acidentes de trânsito é fundamental, seja pelos custos econômico-sociais, seja pelo custo intangível da perda de uma vida.

Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (2012), mais de 1,2 milhão de pessoas morrem no trânsito em todo o mundo a cada ano, e outros milhões ficam feridos ou incapacitados. Isso ocorre, principalmente, nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, uma vez que a maioria dos países desenvolvidos já enfrentou esse problema, diminuindo significativamente as taxas de accidentalidade e mortalidade no trânsito. Um estudo da Organização Mundial da Saúde (2015) enfatiza que os países de baixa renda apresentam taxas de mortes no trânsito duas vezes maiores às dos países de alta renda. Os custos em decorrência dos acidentes rodoviários em todo o mundo são estimados em 3% do Produto Interno Bruto global.

Ferreira (2010) salienta que o crescente investimento em novas infraestruturas rodoviárias, em especial nos países em desenvolvimento, tende a aumentar a exposição ao risco de morte e ferimentos em acidentes rodoviários. Juntando-se a isso o aumento da motorização, tem-se um cenário no qual é cada vez mais importante a aplicação do conhecimento científico na busca de um plano de ação que assegure bons níveis de segurança, a diminuição dos riscos e dos números de mortos e feridos. Duarte (2012) enfatiza que para tal, devem-se maximizar os resultados positivos com a menor geração de gasto possível na busca pela qualidade e segurança viária.

A cada dia, o número de acidentes de trânsito tem aumentado no Brasil. Estima-se que a cada ano ocorram mais de 38 mil mortes e que mais de 200 mil indivíduos fiquem feridos (BRASIL, 2015). De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 2010a), reduzir a ocorrência dos acidentes é uma das atribuições delegadas aos municípios. Mas como fazê-lo em uma rodovia cuja

responsabilidade é federal?

Historicamente, a segurança rodoviária no Brasil, assim como na maioria dos países em desenvolvimento, é medida e definida com base no número de acidentes. A ligação intuitiva e lógica entre segurança e acidentes faz com que a segurança seja avaliada por meio de índices de mortes relativos à população e da frota de veículos automotores, ou ainda, com base nos números absolutos (BASTOS *et al.*, 2012).

Avaliar a segurança de uma rodovia apenas levando em consideração este tipo de raciocínio direto atrela o resultado à confiabilidade e qualidade dos bancos de dados de acidentes. Da mesma forma, os modelos estatísticos que têm como objetivo estimar o número esperado de acidentes em função de atributos geométricos e operacionais dos componentes do sistema de tráfego, conhecidos como modelos de desempenho da segurança (SPMs), funções de desempenho de segurança (PESA) ou modelos de previsão acidente (MPA), dependem da confiabilidade dos bancos de dados (BARBOSA *et al.*, 2013).

Esses modelos têm o potencial de melhorar a segurança rodoviária devido à possibilidade de comparar as alternativas de projetos rodoviários, verificando a sua performance quanto à segurança (AASHTO, 2010).

Outra aplicação dos MPAs é a simulação de alterações nas características rodoviárias, seguida da verificação de sua influência em relação à segurança viária. Para tal é necessário inicialmente a calibração do MPA ao trecho ou segmento em questão. Depois de feito isso, pode-se alterar o valor de uma variável, a redução de um fator de risco provocado por uma alteração no traçado geométrico, por exemplo, e observar o quanto isso influenciará o número de acidentes com o intuito de verificar a eficácia da alteração antes de efetivamente implantá-la (BARBOSA *et al.*, 2013).

Nesse contexto, o presente estudo visa à aplicação de um modelo de previsão de acidentes para os trechos em que a BR-116 corta perímetros urbanos. Essa escolha advém do fato de que esta dissertação faz parte de um estudo mais amplo que propõe um Modelo de Gestão de Segurança para rodovias de mão dupla e pista simples nos trechos em que as mesmas cortam perímetros urbanos. Este estudo elegeu a BR-116 pela sua proximidade com os dois campi onde está sendo realizada a pesquisa pela Universidade Federal de Juiz de Fora, a saber: nos campi de Juiz de Fora e Governador Valadares.

O MPA que foi utilizado é o modelo proposto no *Highway Safety Manual* (HSM). Este manual é direcionado aos profissionais, engenheiros de tráfego, planejadores de trânsito, entre outros. O manual foi produzido pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e fornece uma metodologia para previsão de acidentes, com base nos dados que a mesma coletou nos Estados Unidos, além de fornecer, também, a metodologia necessária para a correta aplicação em outras regiões com características diferentes das regiões onde ele foi desenvolvido por meio de um processo de calibração e refinamento (AASHTO, 2010).

Duarte (2012) descreve o HSM em quatro partes denominadas:

- i) Parte A – nela são apresentados o propósito e o objetivo, explicando ainda sua relação com as atividades de planejamento, projeto, operação e manutenção;
- ii) Parte B – na qual descreve a sequência de passos que podem ser utilizados para monitorar e reduzir a frequência dos acidentes, assim como sua gravidade;
- iii) Parte C – traz a metodologia de previsão para estimar a frequência média dos acidentes em uma rede de estradas ou segmentos e interseções da mesma, tendo em vista ser o método de previsão aplicado para um determinado período de tempo, volume de tráfego e características geométricas semelhantes;
- iv) Parte D – nela são resumidos os efeitos de várias medidas de tratamento, tais como alterações geométricas e de operação num determinado local, a fim de quantificá-los para a verificação de seu resultado no que tange à taxa e/ou gravidade acidentes.

A metodologia do HSM, é utilizada para prever o número de acidentes em um determinado segmento, tendo como base o Volume Diário Médio Anual de tráfego e características da via, como largura de pista, largura e tipo de pavimento do acostamento, número de interseções, características geométricas de curvas e greide, entre outras. Essas mesmas características são utilizadas para a calibração do método ao ambiente em estudo, pois são propostas pelo próprio HSM equações para efetuar essa calibração tendo como base os valores característicos padrão e os valores do segmento em questão.

1.1 OBJETIVO

Avaliar a pertinência dos resultados da aplicação do modelo de previsão de acidentes, proposto no Manual de Segurança Viária (*Highway Safety Manual - HSM*), elaborado pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (2010), à rodovia de mão dupla e pista simples que cortam perímetros urbanos para a utilização do modelo de previsão de acidentes como ferramenta de sistemas de gestão de segurança rodoviária.

1.2 METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza aplicada, predominantemente quantitativa, e a metodologia foi dividida em duas etapas: revisão de literatura, aplicação do modelo de previsão de acidentes.

Primeiramente foi realizada a revisão teórica da literatura, na qual se buscou apresentar o panorama atual da segurança rodoviária, as teorias sobre acidentes de trânsito e mensuração dos mesmos, a fim de apresentar os aspectos que norteiam o tratamento da segurança em rodovias. Em um segundo momento, a revisão se ateve às técnicas de modelagem de previsão de acidentes e a um estudo aprofundado do modelo de previsão de acidentes do HSM, com destaque para os trabalhos nacionais de aplicação da metodologia do HSM em rodovias brasileiras.

Na etapa seguinte, foi realizada a aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM na BR-116, rodovia federal de mão dupla e pista simples, nos trechos em que a mesma corta perímetros urbanos de cidades no segmento entre Caratinga e Leopoldina, no Estado de Minas Gerais. Neste momento, foram utilizados dados do quantitativo de acidentes ocorridos na rodovia, valores do volume de tráfego e quantificações de características geométricas da via nos trechos de estudo.

A etapa de aplicação foi realizada na seguinte sequência:

- 1º) Identificação dos trechos em que a rodovia corta perímetros urbanos;

2º) Coleta de dados: acidentes no período de 2011 a 2015, volume de tráfego, dados geométricos da rodovia e suas características ambientais.

3º) Aplicação do modelo original do HSM, em sua condição base;

4º) Calibração do modelo do HSM aos trechos de rodovia analisados mediante a calibração de fatores com base nos dados oficiais de acidentes e nas características geométricas e ambientais da rodovia;

5º) Refinamento do processo de calibração do modelo do HSM aos trechos de rodovia analisados mediante aplicação do método empírico de Bayes;

6º) Análise comparativa dos resultados obtidos pelo modelo de previsão de acidentes do HSM, na condição base, calibrado e refinado com o método de Bayes, com o número de acidentes ocorridos em 2015.

1.3 CONDIÇÕES DE CONTORNO

A delimitação deste trabalho se dá fisicamente aos trechos em que a BR-116, rodovia de mão dupla e pista simples, corta perímetros urbanos de cidades no segmento entre Caratinga e Leopoldina, Minas Gerais. Com relação aos dados coletados, o estudo se restringe ao período entre 2011 e 2015.

Outras limitações impostas ao trabalho são oriundas do modelo de previsão de acidentes do HSM. Este limita os trechos em estudo em no mínimo 200 metros de extensão. O modelo ainda se prende a características físicas, geométricas e operacionais da rodovia, não levando em consideração fatores humanos relacionados aos acidentes. Além disso, pelo fato de o modelo ser de origem norte-americana, contempla características não existentes no sistema viário brasileiro, contudo o mesmo apresenta uma metodologia de calibração do modelo a novos ambientes distintos daquele de sua origem.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está organizado em seis capítulos. No capítulo 1, é realizada a contextualização do tema estudado e são apresentados o objetivo, o método, as condições de contorno e a estrutura de organização da dissertação.

No capítulo 2, faz-se uma revisão de literatura sobre o panorama atual da segurança rodoviária, as teorias e a mensuração dos acidentes, e, num segundo momento, são abordadas as técnicas de modelagem de previsão de acidentes, enfatizando o estudo do modelo de previsão de acidentes do HSM, destacando-se os trabalhos nacionais de aplicação do HSM em rodovias brasileiras.

O capítulo 3 descreve a metodologia para aplicação do modelo de previsão de acidentes para rodovias de pista simples do HSM. Nessa seção, encontram-se a justificativa para a escolha do local de estudo, a forma de coleta e o processamento dos dados, além das aplicações do modelo proposto pelo HSM.

No capítulo 4, é apresentada a aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em suas três formas: aplicação para a condição base, aplicação do modelo calibrado e aplicação do modelo refinado pelo método empírico de Bayes.

No capítulo 5, são mostrados e discutidos os resultados da aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM. E, por fim, o capítulo 6 apresenta a conclusão do estudo e as recomendações para estudos futuros.

2 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA RODOVIÁRIA

2.1 PANORAMA DA SEGURANÇA RODOVIÁRIA

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2015), os acidentes rodoviários produzem mais de um milhão de vítimas fatais, além de deixarem milhões de pessoas feridas em todo o mundo anualmente. Tais acidentes são a principal causa de morte entre jovens de 15 a 29 anos (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2015).

Diante de tal situação, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou, no dia 11 de maio de 2011, a Década de Ação pelo Trânsito Seguro 2011-2020, na qual governos de todo o mundo se comprometem a tomar novas medidas para prevenir os acidentes no trânsito (NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2011).

No Brasil, somente nas rodovias federais, nos anos de 2010 a 2015, foi registrado pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) mais de 1 milhão acidentes. Neste mesmo período, foram registrados quase 600 mil feridos e 49 mil mortos em acidentes nas rodovias federais (Tabela 1) (POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL, 2016).

Tabela 1 – Quantitativo de acidentes, feridos e mortos, valores absolutos nas rodovias federais: 2010 a 2015

Ano	Quant. acidentes	Quant. feridos	Quant. mortos
2010	183.464	103.209	8.623
2011	192.327	106.818	8.674
2012	184.532	104.434	8.660
2013	186.692	103.743	8.425
2014	153.677	90.763	7.466
2015	122.161	90.251	6.867

Legenda: Quant. – Quantidade

Fonte: POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL, 2016

Em uma estimativa conservadora, apresentada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2015) os acidentes de trânsito matam cerca de 45 mil pessoas e deixam mais de 160 mil pessoas com lesões graves por ano no Brasil. Grande

parte dessas mortes ocorre nas rodovias brasileiras, em especial nas rodovias federais (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2015).

2.2 MENSURAÇÃO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO

Desde o advento do automóvel, no início do século 20, até o ano de 2012, estima-se que 40 milhões de pessoas em todo o mundo tenham morrido em decorrência de acidentes de trânsito (CUNTO; CASTRO NETO; BARREIRA, 2012). De acordo com essa perspectiva, é de fundamental importância tratar a mensuração e previsão de acidentes com devida atenção de forma a mitigar os seus efeitos. A mensuração da acidentalidade no trânsito permite que seja feita a comparação entre locais diferentes ou no mesmo local, porém em diferentes épocas. Tal mensuração é feita por valores absolutos ou relativos, sendo que os índices em relação à população e à frota são os mais utilizados para caracterização da acidentalidade em determinado local (BASTOS, 2011).

Praticamente qualquer quantidade medida em segurança acaba sendo uma taxa porque os dados quase sempre estão relacionados a algum indicador da exposição ao risco. Sendo, por isso, importante especificar claramente qual a taxa usada e como ela se relaciona ao problema tratado (BASTOS, 2011).

Elvik *et al.* (2009) usam a relação do número de mortes com a população de risco para a saúde, pois assim é possível a comparação com o risco de outras causas de morte (mortes/100 mil habitantes). A relação do número de mortes com a quantidade de transporte é tratada pelos autores como risco de tráfego, justamente por indicar o quão seguro é trafegar por determinado local (geralmente mortes/1 bilhão de quilômetros viajados). Na ausência de dados de fluxo, o risco do tráfego é determinado por meio da frota registrada (mortes/100 mil veículos).

Segundo García (2008), os dados de acidentes podem ser analisados de três formas: dados brutos, com a aplicação de pesos, ou como resultado de modelos de estimativa, sendo que a utilização de dados brutos, sem a utilização de peso graduado pela gravidade do acidente, leva a estado de igualdade um acidente leve e sem feridos a um acidente grave com mortes na estatística da taxa de acidentes totais.

Já os modelos de previsão de acidentes podem ser utilizados para identificar e estimar fatores que influenciam a probabilidade da ocorrência de acidentes, determinando locais de alto risco, auxiliando na compreensão dos efeitos do tráfego, da geometria e dos fatores ambientais sobre cada tipo de acidente (GARCÍA, 2008).

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 baseado nas características viárias ambientais. Esses modelos também são conhecidos como funções de desempenho de segurança viária - *Safety Performance Functions* (SPF), segundo o *Highway Safety Manual* - HSM (AASHTO, 2010).

Por ser um guia prático e padronizado, o HSM fornece uma orientação aos profissionais da segurança viária, principalmente para locais em que são necessários resultados urgentes devido à falta de segurança nas vias. As funções de desempenho de segurança viária (SPF) são de grande importância para a tomada de decisão em medidas que modificam as vias para seu melhor desempenho em caráter preventivo de acidentes e são conhecidas, em português, como Modelos de Previsão de Acidentes - MPA (COSTA; BARBOSA, 2014). Tema que se abordará a seguir.

2.3 CUSTOS DOS ACIDENTES

Em pesquisa realizada sobre custos de acidentes com dados de 2004 a 2014, observa-se que ocorreu um aumento de 50,3% dos acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras, com o número de mortes subindo cerca de 34,5% e de feridos, cerca de 50%. Porém, desde 2010, houve uma tendência de queda no número de acidentes e feridos graves, coincidindo com o início das operações da PRF concentradas nos trechos mais críticos. Considerando que, nos últimos dez anos, houve um aumento de 121% na frota de veículos automotores no Brasil, os índices de acidente por frota caíram muito nas rodovias federais. Por exemplo, o índice de mortes em acidentes nas estradas federais por grupo de mil veículos caiu cerca de 40% e de feridos, cerca de 30% (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA

APLICADA, 2015).

Em países de média e baixa renda, estima-se que o custo com mortes e lesões provocadas pelos acidentes em rodovias pode alcançar 5% do seu Produto Interno Bruto – PIB (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2015).

Em 2006, uma pesquisa realizada em conjunto pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) e Departamento Nacional de Trânsito (Denatran), intitulada “Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras”, apresentou estudo que procura quantificar os impactos negativos do trânsito. A função de custos definida para estimativa dos impactos econômicos advindos dos acidentes nas rodovias brasileiras é composta de quatro grupos de componentes com custos relativos (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2006):

- Às pessoas
- Aos veículos
- À via e ao ambiente onde ocorre o acidente
- Ao envolvimento de instituições públicas com o acidente.

Assim, a função global dos custos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras é definida como:

$$C_{\text{acidente}} = C_{\text{pessoas}} + C_{\text{veículos}} + C_{\text{via/ambiente}} + C_{\text{institucionais}} \quad (1)$$

Onde:

- C_{acidente} = custo do acidente;
- C_{pessoas} = custos associados às pessoas;
- $C_{\text{veículos}}$ = custos associados aos veículos;
- $C_{\text{via/ambiente}}$ = custos associados à via e ao ambiente do local de acidente;
- $C_{\text{institucionais}}$ = custos institucionais;

Apresenta-se a seguir a descrição destes quatro grupos (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2006).

2.3.1 Custos associados às pessoas

Custo do atendimento pré-hospitalar, onde são contabilizados os custos do atendimento a vítima por unidades dotadas de equipamentos especiais, com veículos e profissionais especializados (ambulâncias, bombeiros, médicos, entre outros).

A este se acrescenta o custo do atendimento hospitalar, que é a soma dos custos do atendimento médico hospitalar do paciente não internado e do paciente internado na Unidade de Terapia Intensiva e/ou enfermaria. Em sequência, tem-se o custo pós-hospitalar, o qual é representado pela soma dos custos com reabilitação, para os casos de sequela temporária ou definitiva, contemplando procedimentos, medicamentos, transporte, equipamentos e outros.

A estes custos anteriormente citados se adiciona o custo da perda de produção, que é correspondente às perdas econômicas das vítimas de acidente que, em decorrência da interrupção das suas atividades produtivas, deixam de gerar produção e renda, para si e para o sistema econômico.

No custo associado às pessoas, ainda está contabilizado custo de remoção da vítima fatal ao Instituto Médico Legal (IML) e custo de traslado da vítima fatal do IML ou hospital até o local do funeral.

Outro custo que é relacionado às pessoas é o gasto previdenciário, no qual são somados os custos incorridos à empresa, relativos ao valor da previdência, pago por ela, em um período de até 30 dias de afastamento do trabalhador em decorrência de um acidente de trânsito. Cita-se também a previdência social, em virtude do afastamento, temporário (em período superior a 30 dias) ou definitivo do trabalhador em decorrência de um acidente de trânsito, e as seguradoras, seguro por Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre (DPVAT) ou privado.

2.3.2 Custos associados aos veículos

Estes custos se referem ao gasto com danos materiais aos veículos, ou

seja, a recuperação dos veículos danificados em acidentes de trânsito. Outro custo relaciona-se à perda de carga, em que é somado o custo de avaria da carga que estava sendo transportada no veículo envolvido em acidente, ou no caso de perda da carga, o valor dela mais o valor da viagem que não fará a entrega desta carga. Citam-se ainda outros custos associados ao veículo, como o de remoção e pátio para guarda do mesmo após o acidente e o custo de reposição, em que se soma o valor de remoção do veículo e de diárias de armazenamento, além das despesas de substituição do veículo, no período em que ele ficou sem condições de uso, ou na aquisição de um novo veículo.

2.3.3 Custos institucionais

No que tange aos custos institucionais, estes estão divididos em custo de processos judiciais: custo do funcionamento da estrutura judicial em atendimento às questões referentes aos acidentes de trânsito e custo do atendimento policial: soma dos custos do tempo dos policiais rodoviários, da utilização de veículos para atendimento no local do acidente e do deslocamento para hospital ou delegacia.

2.3.4 Custos associados à via e ao ambiente do local de acidente

Neste caso, são contabilizados os custos que provocam danos à propriedade pública, reposição ou recuperação de mobiliário, equipamentos danificados ou destruídos em função de acidentes nas rodovias. A estes são somados os valores dos danos à propriedade privada, todos aqueles custos associados à recuperação de propriedades particulares danificadas em função de acidentes de trânsito.

2.3.5 Outros custos “não valorados”

Apesar do esforço e empenho na busca científica, da valoração dos componentes quantificáveis relacionados ao acidente, existe uma série de custos de magnitude gigantesca, os quais não têm referência monetária, pois envolvem as perdas humanas e ambientais associadas aos acidentes de trânsito.

Estes custos decorrentes da perda de vida ou de lesões permanentes que impossibilitam uma vida normal afetam tanto os envolvidos nos acidentes quanto as famílias e as pessoas de suas relações sociais. Neste caso, estão compreendidos o impacto do estresse pós-traumático e a reação ao estresse e, ainda, o desenvolvimento de quadros de depressão e ansiedade, que estão relacionados ao fato do acidente em si, ao sentimento de culpa pelo acidente e suas consequências.

Já os custos não valorados por impactos ambientais estão relacionados a acidentes com produtos químicos, que podem ter implicações e impactos totalmente diferenciados, dada a variação das características individuais de cada produto lançado ao ambiente e pela variação do tipo de solo, vegetação e clima da região onde houve o acidente (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2006).

Os acidentes de trânsito hoje são objetos de estudos em todo o mundo, tanto pelo número de mortos e feridos envolvidos quanto pelos custos provocados por esses acidentes. Cabe ressaltar que, há muito, busca-se a redução dos seus impactos negativos, uma vez que esses acidentes passaram a ser uma preocupação da sociedade há cerca de cem anos. Desde então, passou-se a encará-los como um problema, e muitas teorias começaram a ser formuladas na tentativa de explicar o porquê desses eventos.

O estudo “Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras, caracterização, tendências e custos para a sociedade”, publicado em 2015 pelo Ipea, mostra os custos dos acidentes nas rodovias federais estimados com base na metodologia adotada na pesquisa realizada por Ipea, ANTP e Denatran em 2006 (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2006). Considera a base de dados de acidentes de 2014 da PRF, aplicada sobre os valores médios dos componentes de custos dos acidentes, calculados em pesquisa amostral da época e atualizados monetariamente pelo Índice de Preço ao Consumidor Amplo (IPCA), do

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). São apresentados valores atualizados sobre os custos relativos aos acidentes de trânsito rodoviários no Brasil.

Tal estudo relata que estes acidentes totalizados geraram um custo para a sociedade de R\$ 12,3 bilhões, sendo que 64,7% desses custos são com cuidados à saúde e perda de produção devido às lesões ou morte. Eles estão associados às vítimas dos acidentes, e 34,7% estavam associados aos veículos, sendo, neste caso, contabilizados os danos materiais e a perda de cargas, além dos procedimentos de remoção dos veículos acidentados (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2015).

Segundo o Ipea (2015), em 2014, o custo médio de cada acidente à sociedade brasileira foi de R\$ 72.705,31. Sendo que, para cada um acidente envolvendo vítima fatal, o custo médio foi de R\$ 646.762,94. Este tipo de acidente responde por menos de 5% do total de ocorrências, porém representa cerca de 35% dos custos totais, indicando a necessidade de intensificação das políticas públicas de redução não somente da quantidade dos acidentes, mas também da sua gravidade.

2.4 A TEORIZAÇÃO SOBRE ACIDENTES DE TRÂNSITO

O Código de Trânsito Brasileiro, em seu art. 1º, parágrafo 1º, apresenta a seguinte conceituação: “Considera-se trânsito como sendo a utilização de vias por pessoas, veículos e animais, isoladamente ou em grupos, conduzidos ou não, com fins de circulação, parada, estacionamento, operações de carga e descarga” (BRASIL, 2010a, p. 11).

Por definição, acidente de trânsito é uma ocorrência que afeta diretamente o cidadão (pedestre, motorista, passageiro), portanto a ele são impingidos aspectos relacionados com a morte, com a incapacitação física, com as perdas materiais, podendo provocar sérios comprometimentos de cunho psicológico, muitas vezes de difícil superação (BRASIL, 2010b).

Bastos (2011) e Silva (2011) apresentam um resumo das principais teorias que surgiram como tentativa de entender o porquê dos acidentes no trânsito. Salientam que, inicialmente, os acidentes eram entendidos como eventos puramente

aleatórios, ou seja, o ser humano não teria nenhum controle sobre os mesmos. Essa teoria perdurou do final do século XIX até o início do XX. Destacam que, durante a Primeira Guerra Mundial, surgiu outra teoria que confrontaria essa primeira, a teoria da propensão. Trata-se de um modelo baseado na suposição de diferentes tendências iniciais para o acidente, sendo esta teoria predominante nas pesquisas sobre segurança viária de 1920 a 1950. Após esse período, essa teoria se enfraqueceu devido à constatação de que a maioria dos acidentes envolvia condutores comuns.

Bastos (2011) e Silva (2011) apontam que, com o insucesso das teorias anteriores, surgiu uma nova abordagem a qual afirma que apenas com a identificação das reais causas dos acidentes seria possível fazer a prevenção efetiva dos mesmos. Com essa teoria, concluiu-se que os acidentes em geral têm mais de uma causa e que, raramente, uma delas se sobressai às outras, podendo, assim, ser apontada como mais decisiva que as demais. Outras pesquisas posteriores complementaram essa abordagem, descobrindo que fatores humanos contribuíam para a maioria dos acidentes.

Esta visão focada nos erros humanos levou a uma ênfase equivocada em uma única ação para combater os acidentes de trânsito, a mudança no comportamento humano, uma vez que esta teoria relacionava o número de acidentes no trânsito apenas com a percepção de risco humano. Porém, após a verificação de que a aplicação de ações apenas direcionadas ao comportamento humano gerou um modesto sucesso, este resultado foi objeto de discussão e estudos, os quais demonstraram a ocorrência de uma compensação da percepção de risco humano. Quanto mais seguros eram os carros, a mais riscos se expunha o motorista, de modo a não compensar o efeito benéfico de novos equipamentos de segurança. Percebeu-se que seria necessário descobrir o porquê da exposição aos riscos e erros humanos, ou seja, descobrir o fato que gerou a falha humana, o que levou à formulação de um novo tipo de teoria sobre os acidentes de trânsito (BASTOS,2011) e (SILVA,2011).

Bastos (2011) e Silva (2011) afirmam que a teoria do sistema, ou teoria epidemiológica, tornou-se popular nos anos 60 e 70, sendo a mais bem-sucedida das teorias. Sua proposição básica indica que os acidentes são resultados de desajustes na interação entre as várias partes de sistemas complexos. De acordo com essa teoria, os erros seriam cometidos devido ao projeto inadequado do

sistema (por exemplo, um sistema viário não condizente com as capacidades humanas). Essa teoria tenta encontrar a solução para o problema dos acidentes modificando os componentes técnicos do sistema de transporte, principalmente aqueles relacionados à engenharia.

Os referidos autores relatam também que existem teorias comportamentais, nas quais a ideia básica é de que o número de acidentes é determinado principalmente pela avaliação e a aceitação do risco pelos usuários. Dá-se destaque à teoria homeostática do risco, de Gerald Wilde, que disse, em 1980, que cada sociedade tem o número de acidentes que “quer ter”, e que a única forma de reduzir esse número é mudando o nível de segurança desejado.

Apesar de a comunidade científica não ter um consenso sobre uma teoria ideal para explicar completamente os acidentes, compreende-se que a teoria que considera os acidentes uma variável aleatória é a de maior aceitação. Isso pelo fato de que, apesar de os acidentes resultarem da combinação de escolhas humanas e de aspectos comportamentais, se pudessem ser antecipados, provavelmente não ocorreriam. Outro fator é que variações atuais no número de acidentes não refletem, necessariamente, as mudanças esperadas em longo prazo, confirmando o caráter aleatório do acidente. Dessa forma, o melhor que se espera é a previsão de seu número aproximado (ELVIK *et al.*, 2009). Resumindo, o que se pode extrair dessas teorias é a previsão do número de acidentes esperados será sempre um valor próximo ao real, pela assídua presença da aleatoriedade (ELVIK *et al.*, 2009).

2.5 MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES

Os modelos de previsão de acidentes são desenvolvidos por técnicas estatísticas, com base na frequência de acidentes, número de acidentes agregados por período de tempo (anos ou meses), observada ao longo do tempo em locais com características físicas semelhantes, para um amplo intervalo de valores do volume diário médio anual (VDMA) (SILVA, 2011).

Segundo Bastos (2011), o número esperado de acidentes é o número médio de acidentes que provavelmente ocorrerão num determinado período de

tempo, mantidos constantes o nível de exposição, as características do meio e do tráfego e todos os outros fatores de risco.

Boffo (2011) descreve que, para se entender a relação entre a frequência de acidentes de trânsito e as características geométricas e operacionais das rodovias, são usados diferentes métodos de modelagem pelos pesquisadores, entre os quais estão os Modelos de Regressão Linear e os Modelos Lineares Generalizados. O Modelo de Regressão Linear utilizado é a Regressão Linear Múltipla, já os Modelos Lineares Generalizados são a Regressão de Poisson e Regressão Binomial Negativa.

Recentes pesquisas mostram que a Regressão Linear Múltipla aplicada na análise de acidentes não satisfaz a três pressupostos, sendo esses a homocedasticidade, a existência de valores negativos da variável dependente e a ocorrência de distribuição normal no erro. Com o intuito de solucionar os problemas associados aos modelos de Regressão Linear Múltipla, pesquisas propuseram a Regressão de Poisson. Elas concluíram que a Regressão de Poisson é uma alternativa mais adequada à Regressão Linear quando aplicada na segurança viária (BOFFO, 2011).

Segundo Barbosa e outros (2014), existe grande dificuldade em se criar modelos de previsão de acidentes. Esse fato pode ser explicado tanto pela dificuldade inerente ao processo de desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes quanto pelo grande esforço requerido na criação de um banco de dados extenso e confiável, com informações das características geométricas e operacionais, dados do volume de tráfego e um cadastro completo do histórico de acidentes, o que muitas vezes não está disponível.

2.6 HIGHWAY SAFETY MANUAL

A *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) publicou, em 2010, a primeira edição do *Highway Safety Manual* (HSM) que fornece um método para a previsão de acidentes, embasado em dados coletados nos Estados Unidos (AASHTO, 2010, 2010).

Segundo a *American Association of State and Highway Transportation*

Officials (2010) o *Highway Safety Manual* (HSM) fornece as seguintes ferramentas:

- Metodologia para o desenvolvimento de um programa eficaz de gestão da segurança e avaliação rodoviária. Onde se procura a melhoria da segurança, através de diagnóstico das condições ambientais do local, avaliação das condições de priorização de potenciais ações na rodovia nas etapas de projeto, operação e manutenção (AASHTO, 2010, 2010).
- Um método preditivo para estimar a frequência de acidente. Este método pode ser usado para auxiliar à tomada de decisões ao longo do processo de desenvolvimento do projeto, incluindo: planejamento, operações de manutenção e previsão de empenho de recursos (AASHTO, 2010, 2010).
- Uma relação de fatores de modificação de acidentes, que estão relacionados com as variações entre características geométricas e operacionais da via de aplicação do modelo e as condições padrão adotadas por ele. Estes fatores foram desenvolvidos utilizando estudos já consolidados sobre o efeito de cada um destes fatores sobre o número de acidentes previstos (AASHTO, 2010, 2010).

O método apresenta funções (“expressões”) para a estimativa da acidentalidade nos diversos componentes do sistema viário com características definidas como padrão (base) e prevê a aplicação de “fatores de modificação de acidentes” nos casos reais em que as características dos ambientes de aplicação são distintas do padrão (base).

Também é apresentada no manual a metodologia para adaptação (adequação) das funções (“expressões”) originais para outras regiões onde as características do trânsito são distintas, em termos de infraestrutura, tipos de veículos, composição da frota, comportamento dos condutores, tipo de clima, etc. Essa adequação é feita mediante a aplicação de um “fator de calibração” baseado nos dados reais de acidentes na região.

Em seu estudo, Barbosa *et al.* (2014) ressaltam que grande parte do recente interesse mundial em se desenvolver modelos de previsão de acidentes está atrelado à publicação pela AASHTO do seu manual de segurança rodoviária (*Highway Safety Manual – HSM*), lançado no ano de 2010. Este apresenta um modelo de previsão de acidentes para vários tipos de rodovias, incluindo

interseções. Destarte, a transferência de modelos de previsão de acidentes para regiões diferentes daquela onde o método foi desenvolvido pode ser uma alternativa menos onerosa e mais viável do que o desenvolvimento de modelos locais específicos (BARBOSA *et al.*, 2014).

O HSM dedica-se em grande parte a justificar o desenvolvimento e a aplicação do modelo de previsão de acidentes no processo de planejamento de sistemas de transporte no âmbito estratégico e operacional (AASHTO, 2010). Segundo Waihrich e Andrade (2015), o Manual de Segurança Viária da AASHTO, HSM, apresenta a partir de modelos de previsão de acidentes uma metodologia quantitativa da segurança rodoviária para segmentos viários. A metodologia do HSM, cujos parâmetros físicos e operacionais foram desenvolvidos no ambiente viário americano, apresenta um método de calibração do modelo, permitindo a sua utilização em outros locais. O modelo do HSM calibrado para condições locais produz resultados satisfatórios, como constatado em alguns estados americanos.

Na revisão de literatura executada, foram encontrados somente três estudos sobre a aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em vias brasileiras, a saber: Silva (2011), que aplicou o modelo em rodovias rurais de pista simples no Estado de São Paulo; Cunto, Sobreira e Ferreira (2015), que apresentam a calibração do modelo de previsão de acidentes do HSM em interseções de vias arteriais em Fortaleza e Waihrich e Andrade (2015), que propuseram a calibração do método do HSM em rodovias de pista dupla nas regiões de Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal.

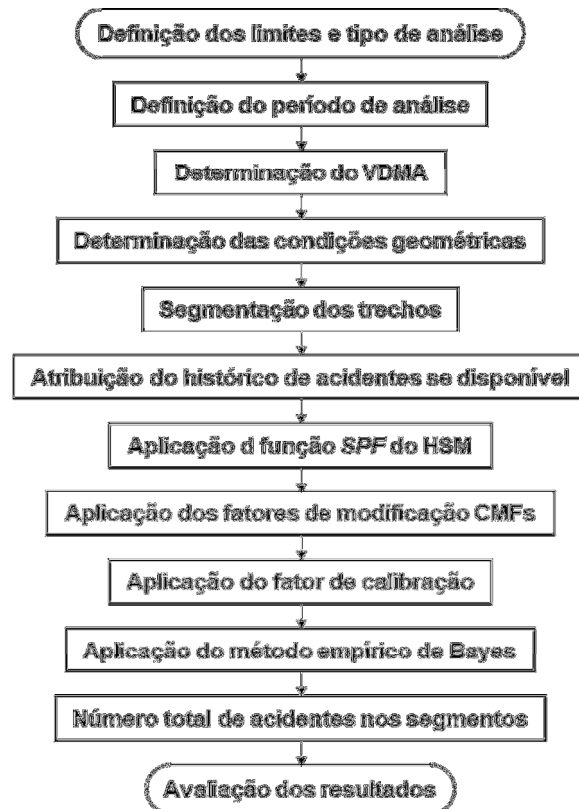
Santos e Pitombo (2014) afirmam que, em outras regiões do país, esses valores obtidos nos estudos anteriormente citados podem ser empregados como primeira aproximação, mas é recomendada a realização de estudos específicos regionais para a aplicação do modelo.

2.6.1 Modelo de previsão de acidentes para rodovias de pista simples do HSM

O modelo de previsão de acidentes em rodovias de pista simples proposto pelo HSM pode ser empregado para estimar a frequência total de acidentes ou a frequência de acidentes segregada por severidade e tipo. A aplicação

do método do HSM é dividida em etapas, conforme mostrado no fluxograma a seguir (Figura 1), proposto por Silva (2011).

Figura 1 – Etapas de aplicação do método de previsão do HSM



Fonte: SILVA, 2011, p. 34

Em virtude da ausência de dados ou indisponibilidade dos mesmos, algumas etapas podem ser suprimidas. Outras etapas podem ter necessidade de repetição devido às alternativas e horizontes de projeto. O detalhamento das etapas está explicitado nos itens a seguir.

2.6.1.1 Definição dos limites e tipo de análise

O modelo de previsão de acidentes do HSM pode ser aplicado tanto para segmentos individuais quanto para conjunto de segmentos, subsidiando diversos tipos de análise. Pode ser aplicado em rodovias existentes, alternativas de

intervenção em rodovias existentes e em projetos de novas rodovias.

Os limites a serem analisados, início e fim do trecho em estudo, dependem da natureza do estudo. O estudo pode ser delimitado tanto para locais isolados quanto para grupos de segmentos contínuos, ou até para um grupo de vários locais isolados.

2.6.1.2 Definição do período de análise

O método de previsão de acidentes pode ser usado para analisar períodos passados ou futuros. Estes períodos serão determinados pela disponibilidade dos dados de tráfego (VDMA) que podem ser dados observados e disponíveis em bancos de dados ou estimados para o futuro; frequência de acidentes, que são dados observados e disponíveis em bancos de dados; e condições de geometria da via, que pode ser a geometria existente já construída ou uma nova geometria a ser implantada. O período de análise a ser utilizado depende da proposta do estudo.

Para estudos em períodos passados com volume de tráfego observado, deve-se considerar:

- Sistema viário, rodovia ou local existente. Se o histórico de acidentes está disponível, o período de estudo é referente ao período do histórico para cada condição geométrica e dados de tráfego conhecidos;
- Alternativas de intervenção de curto prazo para sistema viário, rodovia ou local existente.

Para estudos em períodos futuros com volume de tráfego estimado, deve-se considerar:

- Cenários futuros de sistema viário, rodovia ou local existente com previsão de crescimento de tráfego disponível;
- Alternativas de intervenção futuras para sistema viário, rodovia ou local existente;
- Novas concepções viárias.

2.6.1.3 Determinação do volume diário médio anual

O VDMA utilizado em estudos de períodos passados pode ser determinado a partir da série histórica do tráfego disponível em banco de dados ou pode ser estimado a partir de uma amostra como, por exemplo, contagens classificadas. Para cada segmento de rodovia de pista simples, o VDMA é o volume diário médio nos dois sentidos de tráfego do ano de análise.

Em muitos casos, o VDMA não está disponível para todo o período de análise. Por conseguinte, o volume de tráfego deve ser interpolado ou extrapolado de forma apropriada. Na falta de métodos estabelecidos para isso, o VDMA de um ano individual deve ser assumido para todos os anos de análise (AASHTO, 2010).

2.6.1.4 Determinação das condições de geometria

Para determinar as condições de geometria, é necessário conhecer as condições base consideradas no modelo de regressão SPF, que são:

- Largura da faixa de rolamento (LW) igual a 3,6 m;
- Largura do acostamento (SW) igual a 1,8 m;
- Acostamento pavimentado;
- Índice de obstáculos laterais à direita do sentido de tráfego (*Roadside Hazard Rating* – RHR) igual a três em uma escala de 1 a 7;
- Densidade de acessos em rodovias (DD) igual a oito acessos por km;
- Relevo plano.

As condições base não incluem ainda a presença de iluminação da via, faixas adicionais, fiscalização eletrônica, guias sonoras na pista e curvatura vertical ou horizontal.

Para a aplicação do modelo calibrado é necessário à utilização dos valores de algumas condições de geometria da via que são aplicados para a calibração do modelo ao ambiente de aplicação do estudo. As condições de

geometria necessárias são:

- Comprimento do segmento (km);
- VDMA (veículos por dia);
- Largura da faixa de rolamento (m);
- Largura do acostamento (m);
- Tipo de revestimento do acostamento (pavimentado, terra, etc.);
- Presença ou ausência de curvatura horizontal. Caso o segmento tenha curvas, deve-se determinar:
- Comprimento da curva horizontal, incluindo comprimento da transição espiral (m);
- Raio da curva horizontal (m);
- Presença ou ausência de transição espiral;
- Superelevação da curva horizontal e superelevação máxima (*emax*) permitida por normas;
- Rampas (%);
- Densidade de acessos (acessos/km);
- Presença ou ausência de guias sonoras centrais (*centerline rumble strip*);
- Presença ou ausência de faixas adicionais;
- Presença ou ausência de faixa de acomodação central para conversão à esquerda (*Two-Way Left Turn Lanes* - TWLTL);
- Índice de obstáculos laterais (à direita do sentido de tráfego);
- Presença ou ausência de iluminação no segmento;
- Presença ou ausência de fiscalização eletrônica.

2.6.1.5 Divisão da rodovia em trechos homogêneos

A rodovia, ao longo da sua extensão, apresenta diferentes características por conta da descontinuidade das características físicas e operacionais. Em razão dessa variação, a rodovia analisada deve ser dividida em trechos homogêneos. Essa lógica cartesiana é preconizada pelo HSM para facilitar a análise e definir padrões para as avaliações.

Como regra geral, o comprimento do trecho não deve ser inferior a 200 metros. O modelo de previsão de acidentes resulta no número de acidentes esperado para todo o segmento, que é a soma da avaliação de todos os trechos homogêneos no período de estudo.

2.6.1.6 Atribuição do histórico de acidentes para locais específicos

A utilização do histórico de acidentes esta atrelada ao tipo de estudo que será realizado. Quando o estudo analisa locais já existentes, poderá ser utilizado o método empírico de Bayes, o qual será abordado mais adiante. Para tal, são necessários os dados de frequência de acidentes para a rodovia como um todo ou para trecho específico do estudo. Esses dados podem ser obtidos no órgão regulamentador ou fiscalizador de acidentes. Porém, se os dados da frequência de acidentes disponíveis não podem ser alocados em pontos ou locais específicos da rodovia, deve-se fazer uma análise mais geral, em nível estratégico.

Em análises envolvendo projetos futuros, o histórico de acidentes pode ser aplicado nas seguintes situações:

- Locais nos quais as condições operacionais e de geometria não sofreram modificações;
- Projetos de modificação da seção transversal da via em que o número de faixas permanece o mesmo;
- Projetos de inserção de faixas adicionais ou um curto trecho com quatro faixas em rodovias de pista simples com intuito de aumentar as oportunidades de ultrapassagem;

- Modificação leve de traçado, apenas para melhorar a adequação às curvas.

Em casos de mudanças operacionais e de traçado substanciais, essa etapa não deve ser considerada.

2.6.1.7 Aplicação da função original do Highway Safety Manual (Safety Performance Function)

Em cada um dos trechos de estudo da rodovia, as SPFs são aplicadas para as condições ideais, ou seja, as condições base do modelo sem nenhum tipo de ajuste ou calibração. Neste estudo, será utilizado o modelo SPF para rodovias de pista simples proposto pelo *Highway Safety Manual* produzido pela AASTHO.

Segundo Calibração do HSM na Flórida (TRANSPORTATION RESEARCH CENTER, 2011), a SPF é uma equação de previsão de acidentes oriunda de um modelo de regressão binomial negativo que relaciona a frequência de acidentes a variáveis como o volume de tráfego, sendo estas obtidas em condições "de base" para cada segmento rodoviário ou tipo de interseção.

As SPFs podem ser completas ou simples, e a diferenciação entre elas está no número e tipo de variáveis utilizadas. Para as SPFs completas, são incluídas no modelo uma gama de variáveis, sobre fatores geométricos da via, volume de tráfego e características de controle de segurança. Enquanto que, nas SPFs simples, utiliza-se apenas o volume de tráfego, e as outras variáveis são substituídas por valores padrões associados às condições base de onde a mesma foi desenvolvida (SAHA; ALLURI; GAN, 2017).

2.6.1.8 Aplicação dos fatores de modificação de acidentes

Com o intuito de melhorar a aplicação do modelo HSM fora das condições base, a AASTHO determina uma metodologia para calibração do modelo levando em conta a diferença entre os segmentos reais estudados e a condição ideal "de

base”. Segundo James, Chen e Persaud (2010), para tal calibração, é necessária a obtenção dos Fatores de modificação de acidentes – *Crash Modification Factors* (CMFs) – como serão referidos neste estudo ou Fatores de Modificação de Acidentes – *Accident Modification Factors* (AMFs). Esses fatores são multiplicadores, aplicados para ajustar o modelo SPF.

Esses fatores que modificam as condições de base incluem atributos geométricos, características da rodoviária e fatores geográficos. Tais fatores influenciam na frequência de acidentes estimada em um determinado local (segmento ou interseção) modificando a SPF através da utilização de CMFs, que diferenciam as condições de base de acordo com as condições do local a ser analisado. Quando um CMF corresponder à condição de base, o mesmo terá seu valor igual a 1,0. Se as características do local de aplicação oferecem uma diminuição de risco de acidentes, então o CMF seria inferior a 1,0. Por outro lado, quando o local tem características que resultam em um aumento dos riscos de acidentes, o CMF seria maior do que 1,0 (TRANSPORTATION RESEARCH CENTER, 2011).

2.6.1.9 Aplicação do fator de calibração regional

Outro fator que será aplicado na metodologia proposta pela ASSTHO é o fator de Calibração Regional (Cr). O modelo SPF foi desenvolvido a partir de dados de uma determinada região e, para um determinado período, o CR é aplicado para ajustar o modelo SPF às condições regionais do local de aplicação. O fator de calibração regional (Cr) leva em conta essas diferenças geográficas entre o local, “base” e o local de aplicação.

Cunto, Sobreira e Ferreira (2015) ressaltam a existência de estudos focados especificamente na estimativa e avaliação do fator de calibração CR para diferentes tipos de segmentos de rodovias e interseções. Tais estudos apresentam resultados que mostram que esse fator de calibração varia consideravelmente quando aplicado tanto dentro como fora dos Estados Unidos. É ainda sugerem que essa variação no procedimento de calibração do HSM, principalmente aqueles fora dos Estados Unidos, se dá por conta de fatores como: a largura média da faixa de

rolamento, o uso e ocupação da terra adjacente, o comportamento mais ou menos agressivo do motorista e a composição do tráfego.

O HSM sugere que o fator de calibração seja reavaliado e atualizado a cada dois a três anos, ou preferencialmente anualmente. Porém, esta recomendação exige uma pesquisa de grande porte tanto em termos de organização quanto em termos financeiros, muitas vezes se tornando uma pesquisa inviável. Além do fato de que a atualização do fator de calibração anualmente será desnecessária, caso o mesmo varie em pequena quantidade, gerando um potencial desperdício de tempo, esforço e recursos (SAHA; ALLURI; GAN, 2017).

2.6.1.10 Aplicação do método empírico de Bayes

O Método Empírico de Bayes (EB) é uma metodologia estatística que deve ser aplicada quando for possível a criação de banco de dados com o histórico de acidentes. Para locais específicos, o método EB combina a frequência de acidentes prevista, N_{previsto} , com a frequência de acidentes observada, $N_{\text{observado}}$, juntamente com o parâmetro de dispersão associado à SPF. Isso proporciona maior consistência estatística à estimativa de acidentes do modelo (AASHTO, 2010, 2010). É a melhor forma de conduzir devidamente um estudo sobre a estimativa do efeito de segurança segundo James, Chen e Persaud (2010).

No processo do método bayesiano, inferências são feitas sobre os dados a partir de uma distribuição de probabilidade dos dados existentes, ou seja, uma distribuição de probabilidade pré-conhecida, que irá gerar a função de verossimilhança. Essa função será aplicada sobre os dados existentes, gerando um ajuste de probabilidade da distribuição prévia, com uma distribuição *a priori*, que atualizará a distribuição refinando os dados obtidos no estudo (SAHA; ALLURI; GAN, 2017).

3 METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE ACIDENTES DO HSM

3.1 LOCAL DO ESTUDO

O presente estudo fez uma aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em trechos onde a BR-116, uma rodovia federal de mão dupla e pista simples, corta perímetros urbanos.

A BR-116 foi escolhida por estar próxima aos dois campi da Universidade Federal de Juiz de Fora, no *campus* Juiz de Fora e no *campus* avançado de Governador Valadares. Onde está sendo desenvolvido um estudo que tem como objetivo criar um modelo de gestão de segurança rodoviária para rodovias de mão dupla e pista simples nos trechos em que as mesmas cortam o perímetro urbano. A proximidade dos campi influenciou na escolha do trecho, que se inicia em Leopoldina–MG, onde percorre aproximadamente 490 km, até a cidade de Teófilo Otoni-MG.

Com o intuito de cooperação entre os dois campi que compõem este estudo, o presente trabalho se limita a analisar o segmento entre Leopoldina e Caratinga, municípios do Estado de Minas Gerais. Trecho que se encontra mais próximo de Juiz de Fora e, por isso, mais propício à coleta de dados e informações. Sendo esta pesquisa replicável para as demais cidades do estudo pelo outro campus, o de Governador Valadares, devido às condições de similaridade entre os dois segmentos da mesma rodovia.

No segmento entre Leopoldina e Caratinga, a BR-116 corta os municípios de: Santa Rita de Minas, Santa Bárbara de Minas, Manhuaçu, São João do Manhuaçu, Orizânia, Fervedouro, São Francisco do Glória, Miradouro, Muriaé e Laranjal, totalizando 12 cidades.

Como o objetivo é a aplicação do modelo de previsão de acidentes em trechos onde a rodovia corta o perímetro urbano, foi feita uma primeira eliminação daquelas cidades que, embora cortadas pela BR-116, não o são em seu perímetro urbano.

Após o processo de seleção das cidades, efetuou-se a identificação e

delimitação dos trechos a serem estudados. Cada trecho teve seu início e fim indicado pela quilometragem da própria rodovia, sendo o princípio do trecho o marco quilométrico da entrada do perímetro urbano e seu término, o marco quilométrico do final da área urbana cortada pela rodovia. Foi definida assim a extensão de cada um dos trechos. Estes dados foram compilados no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 – Cidades cortadas pela BR-116

Sentido Norte-Sul	Cidades	Perímetro urbano cortado pela BR-116	Início (km)	Fim (km)	Extensão (km)
	Caratinga	SIM	524,90	530,84	5,94
	Santa Rita de Minas	SIM	538,35	540,10	1,75
	Santa Bárbara do Leste	SIM	552,21	553,04	0,83
	Manhuaçu	NÃO	---	---	---
	São João do Manhuaçu	NÃO	---	---	---
	Orizânia	NÃO	---	---	---
	Fervedouro	SIM	649,70	651,80	2,10
	São Francisco do Glória	NÃO	---	---	---
	Miradouro	NÃO	---	---	---
	Muriaé	SIM	698,00	709,20	11,20
	Laranjal	SIM	736,60	736,70	0,10
	Leopoldina	SIM	761,10	770,10	9,00

Legenda: km – quilômetro

Fonte: O autor

Entre as 12 cidades que compreendem o estudo, sete têm o seu perímetro urbano cortado pela BR-116 e cinco não. Cabe destacar, no que tange à cidade de Laranjal, que o comprimento do trecho de estudo é de 100,00 metros, portanto, insuficiente para atender às condições do modelo proposto pelo HSM.

Após este recorte, fazem parte do estudo as seguintes cidades: Caratinga, Santa Rita de Minas, Santa Bárbara do Leste, Fervedouro, Muriaé e Leopoldina.

3.2 COLETA DOS DADOS

Nesta etapa, foi realizada coleta de dados para a formação de um banco de dados que subsidiou informações para a aplicação do modelo de previsão de acidentes. A fim de atender ao objetivo deste trabalho, foram coletados dados sobre o quantitativo de acidentes ocorridos nos trechos de estudo, além de informações sobre o volume de tráfego nos mesmos trechos e as características geométricas e ambientais de cada trecho.

Foram coletados dados do Programa Dados Abertos Governamentais (PDAG), no Departamento da Polícia Rodoviária Federal (DPRF), onde se encontram informações de acidentes ocorridos em todas as rodovias federais.

O programa disponibiliza informações sobre o ano, o estado, a rodovia, o trecho, a cidade ou localidade, o km da rodovia, a data, o horário, o tipo de acidente, a classificação do acidente (sem vítimas, com vítimas feridas ou com vítimas fatais), bem como o tipo de acidente e a quantificação do número de mortos, feridos graves, feridos leves e ilesos.

Foram coletados dados referentes aos anos de 2011 a 2015. A série histórica de acidentes rodoviários entre 2011 e 2014 compôs o banco de dados que foi utilizado na aplicação do modelo de previsão de acidentes, gerando um número previsto de acidentes. Este resultado foi comparado com o número de acidentes ocorrido no período de 2015, também coletado. Outro dado pesquisado foi o volume de tráfego na rodovia, por meio do Volume Diário Médio Anual – VDMA, que é um dos parâmetros necessários para a estimativa do número de acidentes previstos pela metodologia proposta pelo HSM.

Tais dados foram obtidos através do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT). Os valores de VDMA são oriundos dos cinco postos de contagem no trecho mineiro da BR-116, sendo eles o posto de Manhuaçu (km 560,10), posto de São João do Manhuaçu (km 613,50), posto de Além Paraíba (km 808,10) e dois postos em Teófilo Otoni (km 272,70 e km 280,60). Cada trecho de estudo foi associado a um posto de contagem do Plano Nacional de Contagem de Tráfego. Essa escolha foi feita pela proximidade dos trechos com os postos de contagem disponíveis.

Além destes, buscou-se ainda identificar as características geométricas

da via, como largura da faixa de rolamento, largura do acostamento, raio de comprimento das curvas horizontais, greide, superelevação, presença de pista lateral, presença de iluminação, presença de fiscalização eletrônica. Estes dados foram obtidos no Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Sendo ainda necessária a obtenção de alguns dados que não eram de domínio do DNIT, essa coleta foi executada com o auxílio do *software Google Earth Pro* e do *software Google Street View*. Por meio das imagens dos trechos de estudo, foi possível verificar a presença de obstáculos em suas laterais e o número de acessos a esses trechos. Todo esse conjunto de dados foi utilizado na aplicação do modelo de previsão de acidentes em sua fase de calibração.

3.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os dados quantitativos de acidentes coletados foram tratados em planilha eletrônica. Os dados anuais foram filtrados para cada um dos trechos homogêneos estudados.

O processo para organizar tais informações em planilhas eletrônicas se iniciou com a obtenção dos dados no *site* do DPRF, o qual os disponibiliza em arquivo *Comma Separated Values* (CSV). Este é um formato de arquivo de texto utilizado para troca de dados entre planilhas eletrônicas e outros *softwares* ou aplicativos. Nele cada linha representa uma linha da planilha, e a cada informação separada por vírgula será criada uma célula na planilha eletrônica. Portanto foi necessária a conversão do arquivo CSV para o formato XLS, onde as informações foram reorganizadas para facilitar o processo de filtragem (Figura 2).

Após a conversão dos arquivos do formato CSV para XLS, foi feito o agrupamento das informações, visto que a divulgação dos dados pelo DPRF compreende o trimestre. Procedeu-se, então, ao agrupamento dos dados a cada quatro trimestres, obtendo-se a totalização anual do número de acidentes. Neste agrupamento, foram feitas adequações, pois não há uma uniformidade nos dados disponibilizados, existindo diferenças na ordem de apresentação deles e até mesmo a falta de dados em alguns dos trimestres disponibilizados. Como exemplo, podem-se citar os arquivos do ano de 2015, em que os dados do primeiro trimestre contemplam as informações sobre a latitude, longitude da localização do acidente e também o sentido da rodovia em que o mesmo aconteceu. No entanto, o arquivo do quarto trimestre do mesmo ano não apresenta estas informações, como pode ser visto nas figuras 3 e 4. Os dados faltantes não eram parâmetros utilizados nesta pesquisa, assim sendo, não limitaram o estudo.

Figura 3 – Planilha eletrônica dos dados de acidentes registrados no Departamento de Polícia Rodoviária Federal referentes ao primeiro trimestre de 2015

DPRE_DADOS_ABERTOS_ACIDENTES_2015_01_BR116_REFINADA.xlsx [Reparado] - Microsoft Excel uso não comercial										
ABBY FineReader 11										
M5893										
	F	G	H	I	J	K	L	M		
1										
2										
3	BR	KM	Trecho	Município	Latitude	Longitude	Sentido Via	Tipo Acidente		
4	116	140	ENTR SP-058(B) - ACESSO LAVRINHAS	Queluz	-23.16246963	-45.80584791	Crescente	Tombamento		
5	116	4010	ACESSO MIRACATU - ENTR SP-222 (BIGUÁ)	Miracatu	0	0	Crescente	Saída de Pista		
6	116	5400	ENTR BR-293(B) (P/CAPO DO LEÃO) - ENTR RS-706 (P/PIEDRO OSÓRIO)	Capao Do Leao			Crescente	Tombamento		
7	116	2258	ENTR PISTA INVERSA (A) - ENTR PISTA INVERSA (B)	Pirai			Crescente	Colisão com objeto fixo		
8	116	3717	ENTR RS-715/717 (P/TAPES) - ENTR BR-470/RS-350 (P/CAMAQUÁ)	Tapes	-29.62770000	-51.14075587	Decrescente	Saída de Pista		
9	116	2307	ENTR RS-326 (P/IVOTI) - ENTR RS-239 (P/CAMPO BOM)	Ivoti			Crescente	Tombamento		
10	116	2546	ENTR RS-118 (SAPUCAIA DO SUL) - ENTR BR-386(A) (CANOAS)	Sapucaia Do Sul	0	0	Crescente	Saída de Pista		
11	116	790	ENTR RS-122 (P/PE) - ENTR RS-437 (CAMPESTRE DA SERRA)	Campestre Da Serra	-15.61161382	-41.28847502	Decrescente	Saída de Pista		
12	116	8344	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	-24.97551377	-48.49153279	Crescente	Colisão lateral		
13	116	27	DIV RJ/SP - ENTR SP-054	Queluz			Crescente	Colisão com objeto fixo		
14	116	1370	ENTR SP-103 (CAÇAPAVA) - ENTR SP-099 (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS)	Sao Jose Dos Campos	0	0	Crescente	Capotamento		
15	116	1494	ENTR SP-103 (CAÇAPAVA) - ENTR SP-099 (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS)	Sao Jose Dos Campos	0	0	Crescente	Colisão traseira		
16	116	1384	ENTR SP-103 (CAÇAPAVA) - ENTR SP-099 (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS)	Sao Jose Dos Campos	-24.97551377	-48.49153279	Crescente	Colisão com objeto fixo		
17	116	1386	ENTR SP-103 (CAÇAPAVA) - ENTR SP-099 (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS)	Sao Jose Dos Campos	-23.51900582	-46.73721674	Crescente	Colisão traseira		
18	116	2970	ENTR SP-228 - ENTR SP-057 (P/SIDERURGICA)	Itapecirica Da Serra	0	0	Decrescente	Colisão com objeto fixo		
19	116	720	ENTR BR-459(B)/488 (GUARATINGUETÁ) - ENTR SP-066 (P/ROSEIRA)	Aparecida	-23.51900582	-46.73721674	Decrescente	Capotamento		
20	116	2790	DIV MUNICIPAL SÃO PAULO/TABOÃO DA SERRA - ENTR SP-234 (ITAPECIRICA DA SERRA)	Embu	-32.57101183	-53.37778720	Crescente	Colisão com objeto fixo		
21	116	2476	ENTR RS-240 (VILA SCHARLAU) - ENTR RS-118 (SAPUCAIA DO SUL)	Sao Leopoldo	-5.682703220	-38.46993637	Crescente	Atropelamento de animal		
22	116	268	ENTR CE-350(A) (ITAINGA) - ENTR CE-350(B) (COLUNA)	Itaitinga	-15.97311220	-41.40288358	Decrescente	Colisão traseira		
23	116	392	ENTR BR-251(A) (P/SALINAS) - ENTR BR-251(B) (P/PIEDRA AZUL)	Pedra Azul	-24.97551377	-48.49153279	Decrescente	Saída de Pista		
24	116	4314	ENTR BR-478(A)/SP-165(B) (P/JUQUÍÁ) - ENTR SP-139 (REGISTRO)	Registro	0	0	Crescente	Atropelamento de animal		
25	116	137	ENTR SP-058(B) - ACESSO LAVRINHAS	Queluz	0	0	Crescente	Colisão com objeto fixo		
26	116	137	ENTR SP-058(A) (QUELUZ) - ENTR SP-058(B)	Queluz	0	0	Crescente	Colisão com objeto fixo		
27	116	1940	ENTR RJ-111 - ENTR RJ-109	Quemados	-7.844852342	-39.08728525	Decrescente	Queda de motocicleta / bicicleta / veic		
28	116	4495	ENTR CE-288 (P/AURORA) - ENTR CE-152/290 (BARRO)	Barro	0	0	Decrescente	Colisão Transversal		
29	116	840	ENTR RJ-130 - ACESSO TERESÓPOLIS	Teresopolis	0	0	Decrescente	Capotamento		
30	116	2208	ENTR BR-342(A) (RIB TRÊS BARRAS) (CATUJI) - ENTR MG-409 (P/TOPO AZIO)	Catui	-21.87117079	-42.66848306	Crescente	Tombamento		
DPRE_DADOS_ABERTOS_ACIDENTES_20										
Pronto										

Fonte: O autor

Figura 4 – Planilha eletrônica dos dados de acidentes registrados no Departamento de Polícia Rodoviária Federal referentes ao quarto trimestre de 2015

DPRE_DADOS_ABERTOS_ACIDENTES_2015_04_BR116_REFINADA.xlsx [Reparado] - Microsoft Excel uso não comercial										
G4159										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3	Ano	UF	BR	KM	Trecho	Município	Tipo Acidente	Classificação Acidente	Qtd. Mortos	Qtd. Feridos Graves
4	2015	BA	116	9290	ENTR BA-270 - DIV BA/MG	Encruzilhada	Saída de Pista	Com vítimas feridas	0	0
5	2015	BA	116	9268	ENTR BA-270 - DIV BA/MG	Encruzilhada	Colisão lateral	Com vítimas feridas	0	0
6	2015	BA	116	9230	ENTR BA-270 - DIV BA/MG	Encruzilhada	Colisão frontal	Com vítimas feridas	0	0
7	2015	BA	116	9225	ENTR BA-270 - DIV BA/MG	Encruzilhada	Colisão traseira	Com vítimas feridas	0	0
8	2015	BA	116	9190	ENTR BA-270 - DIV BA/MG	Encruzilhada	Tombamento	Com vítimas feridas	0	0
9	2015	BA	116	9127	ENTR BA-270 - DIV BA/MG	Encruzilhada	Atropelamento de animal	Sem vítimas	0	0
10	2015	BA	116	9100	CÂNDIDO SALES - ENTR BA-270	Encruzilhada	Colisão traseira	Com vítimas feridas	0	0
11	2015	BA	116	9080	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Cândido Sales	Atropelamento de pessoa	Com vítimas feridas	0	0
12	2015	BA	116	9070	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Cândido Sales	Atropelamento de animal	Sem vítimas	0	0
13	2015	BA	116	9023	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Cândido Sales	Saída de Pista	Com vítimas feridas	0	0
14	2015	BA	116	8880	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Colisão traseira	Sem vítimas	0	0
15	2015	BA	116	8771	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Capotamento	Sem vítimas	0	0
16	2015	BA	116	8751	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Incêndio	Sem vítimas	0	0
17	2015	BA	116	8650	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Saída de Pista	Com vítimas feridas	0	0
18	2015	BA	116	8642	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Saída de Pista	Com vítimas feridas	0	0
19	2015	BA	116	8615	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Saída de Pista	Com vítimas feridas	0	0
20	2015	BA	116	8585	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Capotamento	Com vítimas feridas	0	1
21	2015	BA	116	8559	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Saída de Pista	Com vítimas feridas	0	0
22	2015	BA	116	8548	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Colisão traseira	Com vítimas feridas	0	0
23	2015	BA	116	8513	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Colisão Transversal	Com vítimas feridas	0	0
24	2015	BA	116	8497	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Saída de Pista	Com vítimas feridas	0	0
25	2015	BA	116	8480	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Saída de Pista	Com vítimas feridas	0	0
26	2015	BA	116	8440	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Saída de Pista	Com vítimas feridas	0	0
27	2015	BA	116	8430	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Tombamento	Sem vítimas	0	0
28	2015	BA	116	8427	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Tombamento	Sem vítimas	0	0
29	2015	BA	116	8400	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Colisão traseira	Sem vítimas	0	0
30	2015	BA	116	8360	ENTR BA-263 - CÂNDIDO SALES	Vitoria Da Conquista	Colisão traseira	Sem vítimas	0	0

Fonte: O autor

Essa totalização gerou uma planilha extremamente ampla, pois nela estão todos os acidentes registrados pela Polícia Rodoviária Federal em âmbito nacional no intervalo de um ano. Destarte, fez-se necessário um procedimento de filtragem dos dados para obter a totalização somente em cada um dos trechos de estudo.

O processo de filtragem foi feito através da identificação do quilômetro de início e de fim de cada um dos trechos. A viabilidade de o *software* efetuar a filtragem dos dados contidos na planilha gerou a possibilidade de obtenção precisa do número de acidentes em cada um dos trechos, efetuada na seguinte ordem:

- 1º) Filtragem para seleção de acidentes apenas na BR-116.
- 2º) Filtragem para seleção de acidentes na BR-116, apenas no Estado de Minas Gerais.
- 3º) Seleção dos acidentes na cidade/localidade do trecho de estudo.
- 4º) Seleção da quilometragem correspondente ao perímetro urbano cortado pela BR-116, delimitando o trecho de estudo.

A Figura 5 apresenta uma planilha eletrônica com a totalização dos acidentes em 2015. Pode-se observar o modo como foi organizada para quantificar os acidentes, o número de mortos, feridos leves e graves, o número de ilesos e facilitar a classificação dos acidentes por tipo e severidade. Observa-se também a utilização da ferramenta filtro, para a seleção dos acidentes apenas no trecho do perímetro urbano, neste exemplo, a cidade de Leopoldina.

3.4 ANÁLISE DE DADOS COLETADOS

Após a coleta e processamento dos dados, procedeu-se à análise destes dados, de modo a gerar novas planilhas com a classificação dos acidentes por tipo e severidade, que está contida nos Apêndices A e B deste trabalho.

Sua criação foi possível por meio da utilização dos dados das planilhas totalizadas e a aplicação de filtros, para a contabilização dos acidentes em dez tipificações, sendo elas: Atropelamento de animais; Atropelamento de ciclistas; Atropelamento de pedestres; Saída de pista; Capotamento; Outros; Colisão Transversal; Colisão Frontal; Colisão Traseira; Colisão Lateral. Identificaram-se os acidentes envolvendo apenas um veículo e os que envolveram mais de um veículo, sendo, para cada um desses, ainda especificado o número de vítimas feridas, vítimas fatais e quando não houve vítimas, apenas danos materiais. Para a obtenção desta planilha, foi necessário estabelecer uma correlação entre a nomenclatura apresentada nos dados oriundos do DPRF e a nomenclatura da metodologia proposta pelo HSM. Tal correlação é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Correlação entre as nomenclaturas apresentadas pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal e pelo Highway Safety Manual

Acidentes envolvendo apenas um veículo	AASTHO	PRF
	Atropelamento de animais	Atropelamento de animais
	Atropelamento de ciclistas	Colisão com bicicletas
	Atropelamento de pedestres	Atropelamento de pessoas
	Capotamento	Tombamento / Capotamento
	Outros	Queda de motocicleta/bicicleta/veículo Incêndio Colisão com objeto fixo Colisão com objeto móvel Danos eventuais
Acidentes envolvendo mais de um veículo	AASTHO	PRF
	Colisão transversal	Colisão transversal
	Colisão frontal	Colisão frontal
	Colisão traseira	Colisão traseira
	Colisão lateral	Colisão lateral
		Danos eventuais

Legenda: AASTHO – American Association of State Highway and Transportation Officials;
PRF – Polícia Rodoviária Federal

Fonte: O autor

Apresentou-se em outra planilha, com os valores percentuais relativos a severidade os acidentes: fatais; com vítimas com ferimentos graves; com vítimas com ferimentos moderados; com vítimas com ferimentos leves; bem como com vítimas sem ferimentos, apenas danos materiais. Para a compilação dos dados nesta planilha, foi necessária a realização de uma adaptação, pois, nos dados disponibilizados pelo DPRF, não havia a categorização de acidentes com vítimas com ferimentos moderados. Portanto, por esse fato, o seu valor é igual a zero para todos os trechos estudados.

3.5 APLICAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE ACIDENTES

De posse dos dados, efetuou-se à aplicação do modelo de previsão de

acidentes proposto pelo manual HSM da AASHTO. A primeira aplicação desse modelo deu-se de acordo com o procedimento original do HSM, condição base, em que não é feita nenhuma consideração quanto às diferenças entre o ambiente da BR-116 e o originalmente estudado para a produção do modelo HSM. A metodologia proposta pelo HSM consiste na aplicação da equação base, cujas variáveis são o Volume Médio Diário Anual e o Comprimento do trecho em estudo, que terá como resultado o número de acidentes previstos.

Em um segundo momento, a aplicação do modelo HSM foi executada com a calibração às características do ambiente dos segmentos em estudo. A adaptação do modelo teve como base o banco de dados criado. Foi aplicada toda a metodologia proposta para a calibração do modelo, utilizando as equações descritas no próprio HSM para o cálculo dos fatores de modificação de acidentes e também para o cálculo do fator de calibração regional. Cada um deles resultou em um multiplicador acrescido na equação base do HSM.

Posteriormente foi refinado o processo de adaptação do modelo HSM ao ambiente do segmento em estudo, incorporando o método empírico de Bayes, metodologia estatística que aprimora os resultados da aplicação da metodologia proposta pelo HSM através de uma equação que tem como uma de suas variáveis o parâmetro de dispersão associado à equação base.

4 APLICAÇÃO DO MODELO DO HIGHWAY SAFETY MANUAL

4.1 APLICAÇÃO DO MODELO DO HIGHWAY SAFETY MANUAL PARA A CONDIÇÃO BASE (*SAFETY PERFORMANCE FUNCTIONS*)

Neste primeiro momento, será feita aplicação do modelo do HSM, em sua condição base, ou seja, sem nenhuma calibração às características do trecho de estudo da BR-116. Para esta aplicação, o manual da AASHTO chama de *Safety Performance Functions* (SPF) o conjunto de características para as quais foi criada a regressão que servirá para prever a frequência média de acidentes no ano determinado, para essas condições base. Cada SPF é desenvolvida para locais com características similares e com dados coletados nos mesmos (AASHTO, 2010).

A aplicação do modelo SPF utiliza informações conhecidas sobre a rodovia, como a extensão e VDMA, do trecho de aplicação, para prever o número de acidentes neste trecho (SAITO; BRIMLEY; SCHULTZ, 2011).

A SPF, assim como todos os modelos de regressão, estima o valor de uma variável dependente como função de um conjunto de variáveis independentes. No HSM, a variável dependente estimada é a frequência de acidentes para o segmento de rodovia com as condições ideais e as variáveis independentes são o VDMA e o comprimento do segmento. A SPF para condições base em rodovias de pista simples apresentada no HSM (AASHTO, 2010) é:

$$N_{SPF\ rs} = VDMA \times \frac{L}{1,609} \times 365 \times 10^{\alpha} \times e^{\beta} \quad (2)$$

Onde:

- $N_{SPF\ rs}$: número de acidentes previsto para condições base em segmentos de rodovia;
- VDMA: volume de tráfego diário médio anual (veículos/dia);
- L: extensão do segmento analisado convertido em km;
- α e β são parâmetros da SPF, sendo os valores encontrados para condições básicas americanas respectivamente (-6) e (-0,312).

- e : base neperiana

4.1.1 Escolha dos trechos homogêneos

Uma rodovia pode variar ao longo da sua extensão em função da continuidade ou descontinuidade de suas características físicas e operacionais, criando segmentos com características comuns. Esses trechos são designados pelo HSM como “trechos homogêneos”.

Essa lógica preconizada pelos MPAs é utilizada pelo HSM para facilitar a análise e definir padrões para as avaliações. Como regra, o comprimento do trecho não deve ser inferior a 200 m. O modelo de previsão de acidentes pode ser utilizado individualizando cada um dos trechos homogêneos, ou resultar da soma de todos os trechos homogêneos, apresentando o número de acidentes esperado para todo o segmento no período de estudo.

Para esta pesquisa, foi estabelecido como segmento de estudo o trecho de Leopoldina até Caratinga. Os trechos homogêneos foram definidos pela característica principal deste estudo: perímetros urbanos cortados por uma rodovia federal, a BR-116. Portanto cada trecho em que a BR-116 corta um perímetro urbano foi designado como um trecho homogêneo. Eles foram denominados com o nome da cidade cortada pela rodovia (Quadro 3).

Quadro 3 – Trechos de estudos para aplicação da metodologia do Highway Safety Manual

Sentido Norte-Sul	Trecho homogêneo	Perímetro urbano cortado pela BR-116	Início (Km)	Fim (Km)	Extensão (Km)
	Caratinga	SIM	524,90	530,84	5,94
	Santa Rita de Minas	SIM	538,35	540,10	1,75
	Santa Bárbara do Leste	SIM	552,21	553,04	0,83
	Fervedouro	SIM	649,70	651,80	2,10
	Muriaé	SIM	698,00	709,20	11,20
	Leopoldina	SIM	761,10	770,10	9,00

Fonte: O autor

4.1.2 Histórico de acidentes

O histórico de acidentes consiste em uma base de dados com os quantitativos dos acidentes ocorridos no segmento em estudo. Os quantitativos dos acidentes foram obtidos através da utilização de planilha eletrônica, na qual os dados anuais foram refinados para cada um dos trechos homogêneos estudados.

Deste modo, foi possível quantificar o número de acidentes em cada um dos trechos homogêneos. A Tabela 2, correspondente aos anos de 2011 a 2015, mostra os resultados obtidos nesta fase da pesquisa, e são apresentados para cada um dos trechos de estudo o número de acidentes, o número de acidentes com vítimas, o número de acidentes sem vítimas, o número de mortos, número de feridos graves, número de feridos leves e o número de ilesos.

Tabela 2 – Acidentes registrados no Departamento de Polícia Rodoviária Federal, na BR-116, referentes ao período de 2011 a 2015

continua

Cidade	Trecho			Ano	Nº de acidentes	Acidentes com vítimas	Acidentes sem vítimas	Nº de mortos	Nº de feridos graves	Nº de feridos leves	Nº de ilesos
	Início (km)	Fim (km)	Ext. (km)								
Caratinga	524,90	530,84	5,94	2011	142	68	74	3	26	60	193
				2012	131	71	60	0	26	60	185
				2013	136	78	58	2	27	68	177
				2014	135	89	46	5	29	80	162
				2015	119	106	13	3	48	91	107
Sta. Rita de Minas	538,35	540,10	1,75	2011	8	6	2	0	2	6	14
				2012	6	4	2	1	2	7	6
				2013	5	4	1	0	1	4	3
				2014	5	4	1	0	4	4	10
				2015	10	9	1	0	2	9	12
Sta. Bárbara do Leste	552,21	553,04	0,83	2011	2	1	1	1	0	0	2
				2012	1	1	1	0	0	2	1
				2013	4	2	2	1	0	1	5
				2014	1	0	1	0	0	0	2
				2015	3	2	1	1	0	1	3

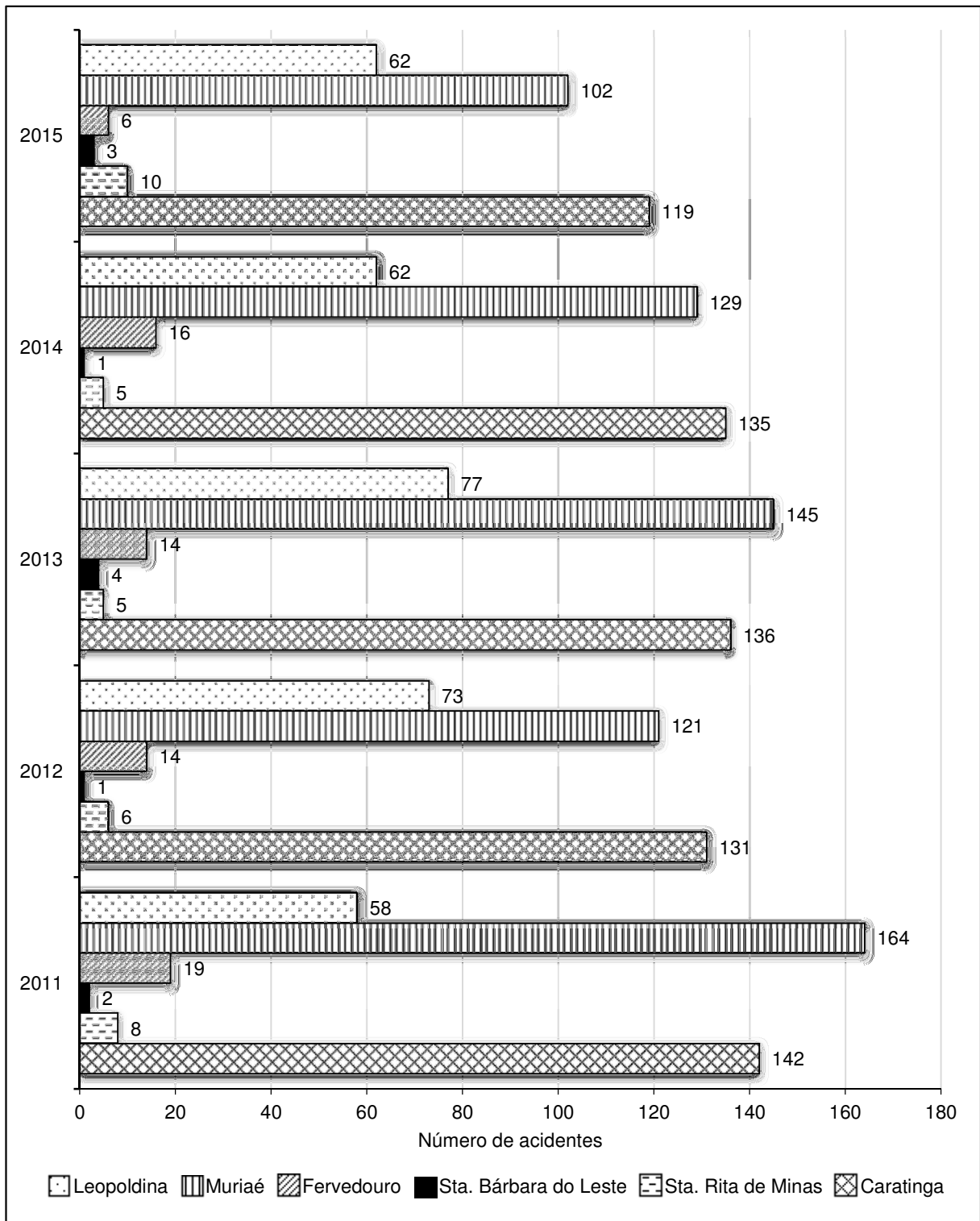
Cidade	Trecho			Ano	Nº de acidentes	Acidentes com vítimas	Acidentes sem vítimas	Nº de mortos	Nº de feridos graves	Nº de feridos leves	Nº de ilesos	conclusão	
	Início (km)	Fim (km)	Ext. (km)										
Fervedouro	649,70	651,80	2,10	2011	19	12	7	4	2	8	25		
				2012	14	8	6	0	8	3	16		
				2013	14	9	5	0	9	16	13		
				2014	16	11	5	1	6	8	19		
				2015	6	4	2	0	6	9	5		
Muriaé	698,00	709,20	11,20	2011	164	74	90	9	23	83	250		
				2012	121	57	64	1	16	55	168		
				2013	145	69	76	1	11	73	198		
				2014	129	72	57	2	13	84	182		
				2015	102	87	15	2	22	83	109		
Leopoldina	761,10	770,10	9,00	2011	58	28	30	2	8	42	80		
				2012	73	23	50	2	9	53	115		
				2013	77	23	54	6	10	18	124		
				2014	62	33	29	2	9	39	92		
				2015	62	38	24	3	22	37	82		

Legenda: Km – quilômetro;
 Nº – número;
 Ext. – Extensão;
 Sta. – Santa

Fonte: Adptado de Dados Abertos da Polícia Rodoviária Federal

No Gráfico 1, pode-se comparar a evolução do número de acidentes ao longo dos cinco anos de dados estatísticos.

Gráfico 1 – Acidentes por trecho de 2011 a 2015



Fonte: O autor

Com base nos dados calculou-se a média dos valores de acidentes nos quatro anos de estudo (2011 a 2014), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores médio de acidentes por trecho de 2011 a 2014

Cidade	Trecho			Média do nº de acidentes (2011-2014)
	Início (km)	Fim (km)	Extensão (km)	
Caratinga	524,90	530,84	5,94	136
Santa Rita de Minas	538,35	540,10	1,75	6
Santa Bárbara do Leste	552,21	553,04	0,83	2
Fervedouro	649,70	651,80	2,10	16
Muriaé	699,00	702,20	11,20	140
Leopoldina	761,10	770,10	9,00	68

Legenda: Km – quilômetro; nº – número

Fonte: O autor

4.1.3 Volume diário médio anual

O volume de tráfego, é citado pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes e a Universidade Federal de Santa Catarina (2006), como o número de veículos que transitam por uma seção de uma certa via em um determinado intervalo de tempo. Este volume é utilizado em estudos de planejamento de rodovias, estudos de tendências de crescimento do tráfego, estudos dos índices de acidentes, entre outros.

O intervalo de tempo pelo qual os volumes de tráfego são medidos varia de horários, diários, semanais, mensais e anuais. Sendo normalmente empregada a unidade por dia (veículos/dia), e as taxas mais frequentemente utilizadas são o Volume Diário Médio Anual (VDMA) e o Volume Médio Diário (VMD).

Pesquisadores e órgãos rodoviários brasileiros e internacionais baseiam seus estudos e decisões sobre planejamento, projeto, construção e conservação de rodovias em pesquisas sobre trânsito, em que o principal parâmetro é o valor do volume de tráfego.

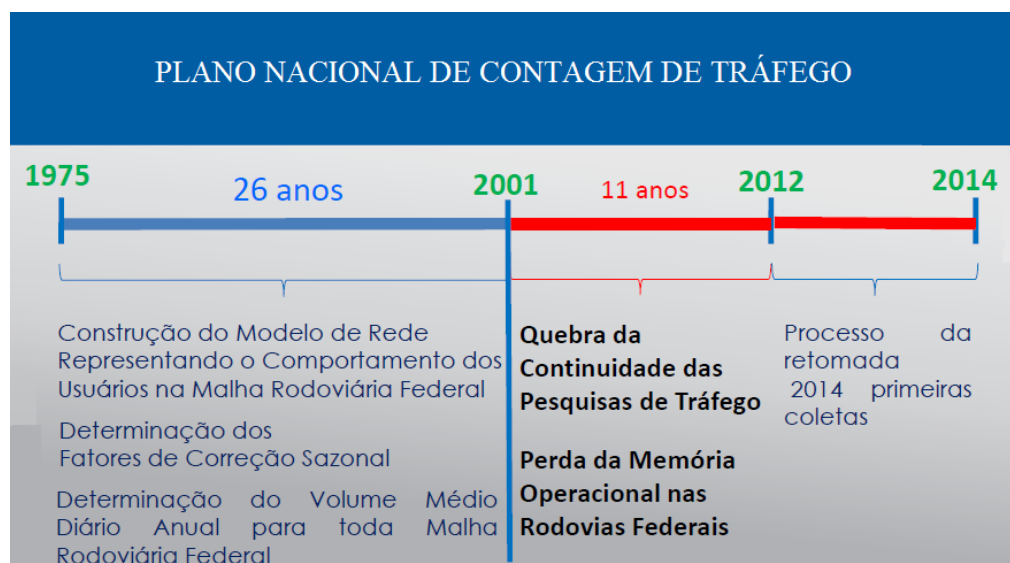
O VDMA representa a média de um ano com todos os volumes diários registrados durante uma dada seção de uma via. É o volume que, multiplicado por 365 dias, representa a quantidade total de veículos que transitaram durante o ano na via (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2008). O VDMA é um dos

parâmetros necessários para a aplicação da metodologia proposta pelo HSM. Buscou-se a obtenção destes valores no Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT).

O PNCT teve origem no ano de 1972, com a realização de coletas sistemáticas de dados sobre volume de tráfego na rede rodoviária, segundo o extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1981). Em 1975, teve início o “Programa de Contagem Sistemática de Trânsito”, com a implantação de 14 postos nos estados do RJ, SP, MG. No ano de 1976, o programa evoluiu para o “Plano Piloto de Contagem Sistemática de Trânsito”, e foi evidenciada a eficiência dos aparelhos contadores, o que levou à expansão do programa de contagens. Estas ações evoluíram até a criação do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) em 1977, com 120 postos permanentes. Em 1989, o PNCT tinha implantado 235 postos, evoluindo para 266 em 1997 e 285 postos em 1998 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, [c201-]).

Este plano foi mantido até o ano de 2001, depois disso foi interrompido por restrições orçamentárias, tendo sido retomado em 2014, a partir da contratação de serviços de contagem de tráfego em pontos específicos da malha rodoviária federal e por meio de cooperação técnica estabelecida com o Exército Brasileiro (Figura 6).

Figura 6 – Linha do tempo do Plano Nacional de Contagem de Tráfego



Fonte: adaptado do site DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, [c201-]

Neste trabalho, os valores de VDMA são oriundos dos dados coletados e disponibilizados pelo Plano Nacional de Contagem de Tráfego, que conta com cinco postos de contagem no trecho mineiro da BR-116, sendo eles o posto de Manhuaçu (km 560,10), posto de São João do Manhuaçu (km 613,50), posto de Além Paraíba (km 808,10) e dois postos em Teófilo Otoni (km 272,70 e km 280,60).

Cada um dos trechos de estudo foi relacionado com o posto de contagem mais próximo do PNCT (Tabela 4).

Tabela 4 – Associação dos trechos e pontos de coleta de dados volumétricos do Plano Nacional de Contagem de Tráfego

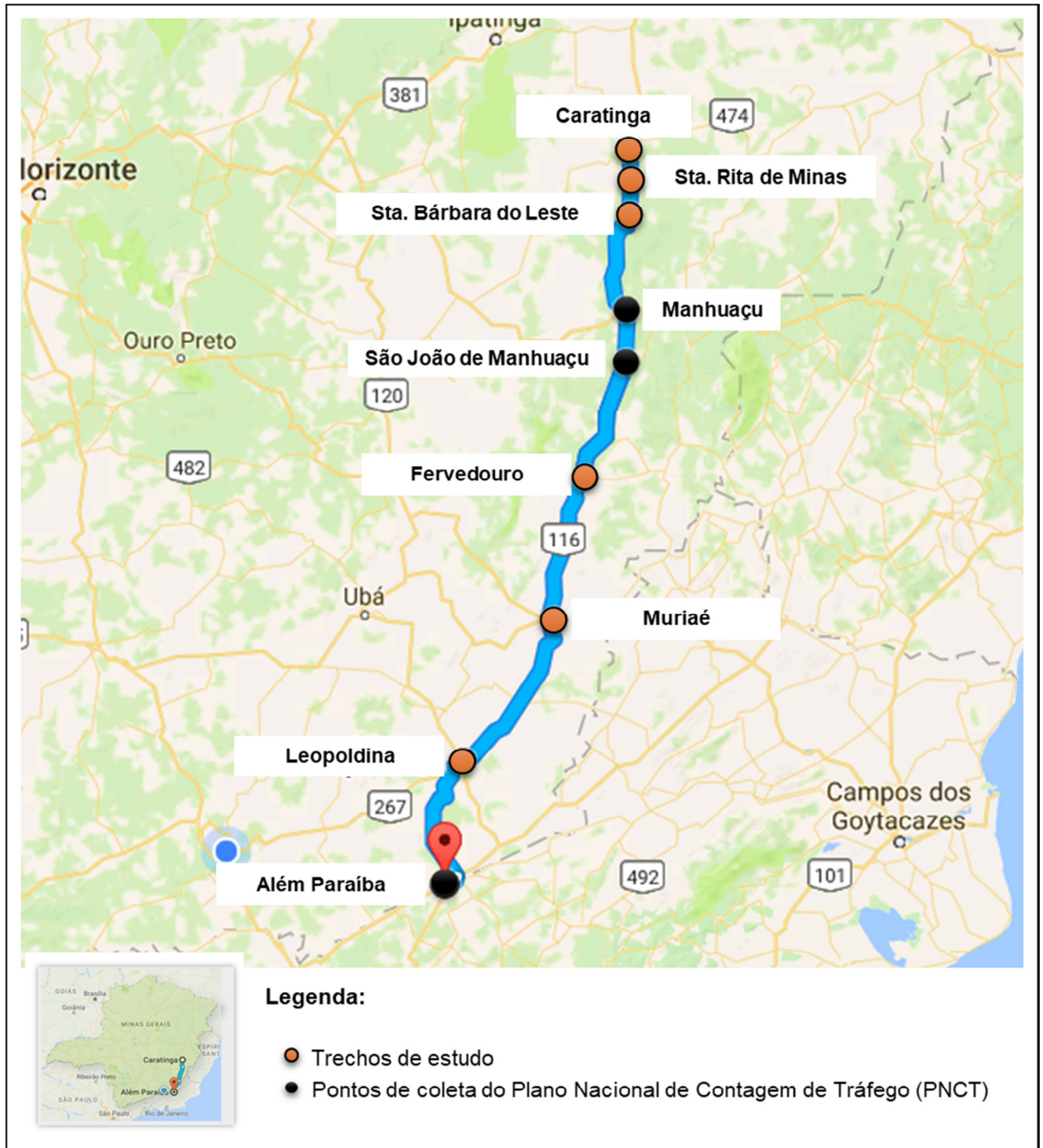
Cidade	Trecho		L Extensão (km)	Posto PNCT	VDMA (veículos/dia)
	Início (km)	Fim (km)			
Caratinga	524,90	530,84	5,94	Manhuaçu (km 560,10)	5.498
Sta. Rita de Minas	538,35	540,10	1,75	Manhuaçu (km 560,10)	5.498
Sta. Bárbara do Leste	552,21	553,04	0,83	Manhuaçu (km 560,10)	5.498
Fervedouro	649,70	651,80	2,10	São João do Manhuaçu (km 613,50)	4.869
Muriaé	698,00	709,20	11,20	São João do Manhuaçu (km 613,50)	4.869
Leopoldina	761,10	770,10	9,00	Além Paraíba (km 808,10)	6.393

Legenda: Km – quilômetro;
 PNCT – Plano Nacional de Contagem de Tráfego;
 VDMA – Volume Diário Médio Anual;
 Sta. – Santa

Fonte: O autor

A Figura 7 ilustra a posição dos pontos de coleta dos dados volumétricos do Plano Nacional de Contagem de Tráfego utilizados em relação aos trechos de estudo.

Figura 7 – Posição dos pontos de coleta dos dados volumétricos do Plano Nacional de Contagem de Tráfego utilizados no estudo.



Fonte: O autor

4.1.4 Aplicação da equação

De posse de todos os dados, efetuou-se a aplicação do modelo base do HSM com a utilização da equação (2), pág.55, sem calibração, conforme foi descrito no item 4.1 .

Foi associado a cada um dos trechos o valor de VDMA de acordo com a proximidade do posto de coleta de dados do PNCT à extensão de cada um dos trechos, na equação proposta pela metodologia da AASTHO.

O resultado do número de acidentes previsto na aplicação do modelo para a condição base pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultado da aplicação do HSM na condição base e o número de acidentes ocorridos em 2015

Cidade	Número de acidentes	
	Previsto na condição base	2015
Caratinga	5,42	119
Santa Rita de Minas	1,59	10
Santa Bárbara do Leste	0,75	3
Fervedouro	1,69	6
Muriaé	9,05	102
Leopoldina	9,55	62

Fonte: O autor

4.2 APLICAÇÃO DO MODELO HIGHWAY SAFETY MANUAL CALIBRADO

O modelo base do HSM se fundamentou em características da região onde foi desenvolvido, isso inclui os aspectos das vias, do tráfego e as características geográficas da região. Para um melhor resultado da aplicação do modelo em outras regiões, outras características, a própria AASTHO desenvolveu uma metodologia para calibração e aplicação do modelo, incluindo fatores de modificação de acidentes e de calibração à equação base.

Devido às diferenças entre o segmento estudado e a condição ideal

(condição base do modelo HSM) foi necessária a aplicação de fatores de modificação de acidente (Crash Modification Factors - CMFs), multiplicadores. Esses fatores são aplicados para ajustar o modelo SPF às condições do trecho em estudo. (SAITO; BRIMLEY; SCHULTZ, 2011).

Os fatores de modificação de acidentes (CMFs) são usados para adequar as características base às peculiaridades de segmentos específicos. Essa calibração do modelo SPF é feita por multiplicação, equação 4.

$$N_{SPF\ rs} = VDMA \times \frac{L}{1,609} \times 365 \times 10^{\alpha} \times e^{\beta} \times C_r \times (CMF_1 \times CMF_2 \times \dots \times CMF_{12}) \quad (4)$$

O modelo de previsão de acidentes do HSM é calibrado para condições geográficas regionais nas quais foram desenvolvidas condições base. Para o segmento em estudo, as condições regionais se diferenciam das condições base quanto às características da frota, composição do tráfego, registro de acidentes, etc. Essas variações podem resultar em diferenças significativas da frequência de acidente para o mesmo tipo de rodovia (SILVA, 2011). O fator de Calibração Regional - C_r é utilizado para calibrar o modelo diante destas características. O valor de C_r é igual a 1,00 quando o método é aplicado na sua forma original e pode ser diferente após a calibração, dependendo da frequência de acidentes observada.

Conforme pode ser observado na equação (4), nesta etapa, são adicionados à equação para a condição base o Fator de Calibração e os Fatores de Modificação de Acidentes.

Para as condições em que não há diferença entre a condição base e a condição do trecho em estudo, o fator de modificação é igual 1,0. Para os casos em que a condição estudada apresenta maior segurança que a condição base, o CMF será inferior a 1,0. Já para os casos em que se dá o contrário, o valor do CMF será superior a 1,0, retratando condições de segurança menos eficientes (SAITO; BRIMLEY; SCHULTZ, 2011).

São considerados doze fatores de modificação de acidentes, para calcular alguns destes fatores antes é preciso conhecer a distribuição dos acidentes por tipo e severidade, pois desta distribuição foram obtidos valores necessários ao cálculo de alguns CMFs.

4.2.1 Determinação da distribuição dos acidentes por tipo e severidade

É possível determinar o número de acidentes previstos por tipo e severidade. Para isso, é necessário o conhecimento da distribuição percentual de acidentes por tipo e severidade. A distribuição padrão do HSM é determinada para o período de 2002 a 2006 em rodovias de pista simples de Washington por severidade e por tipo de acidente (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6 – Distribuição percentual da frequência de acidentes em rodovias de pista simples por severidade (AASHTO, 2010, adaptado)

Severidade dos acidentes	Percentual total de acidentes em segmentos de rodovias (%)
Fatal	1,3
Vítimas com ferimentos graves	5,4
Vítimas com ferimentos moderados	10,9
Vítimas com ferimentos leves	14,5
Danos materiais sem vítimas	67,9
Total	100,0

Fonte: AASTHO, 2010.

Tabela 7 – Distribuição percentual de acidentes por tipo de severidade (AASHTO, 2010)

continua

Tipo de acidente	Grau de severidade		
	Acidentes com vítimas (%)	Danos materiais (%)	Total (%)
Acidente envolvendo apenas um veículo			
Atropelamento de animais	3,8	18,4	12,1
Atropelamento de ciclistas	0,4	0,1	0,2
Atropelamento de pedestre	0,7	0,1	0,3
Capotamento	3,7	1,5	2,5
Saída de pista	54,4	50,5	52,1
Outros	0,7	2,9	2,1
Total (apenas um veículo)	63,8	73,5	69,3

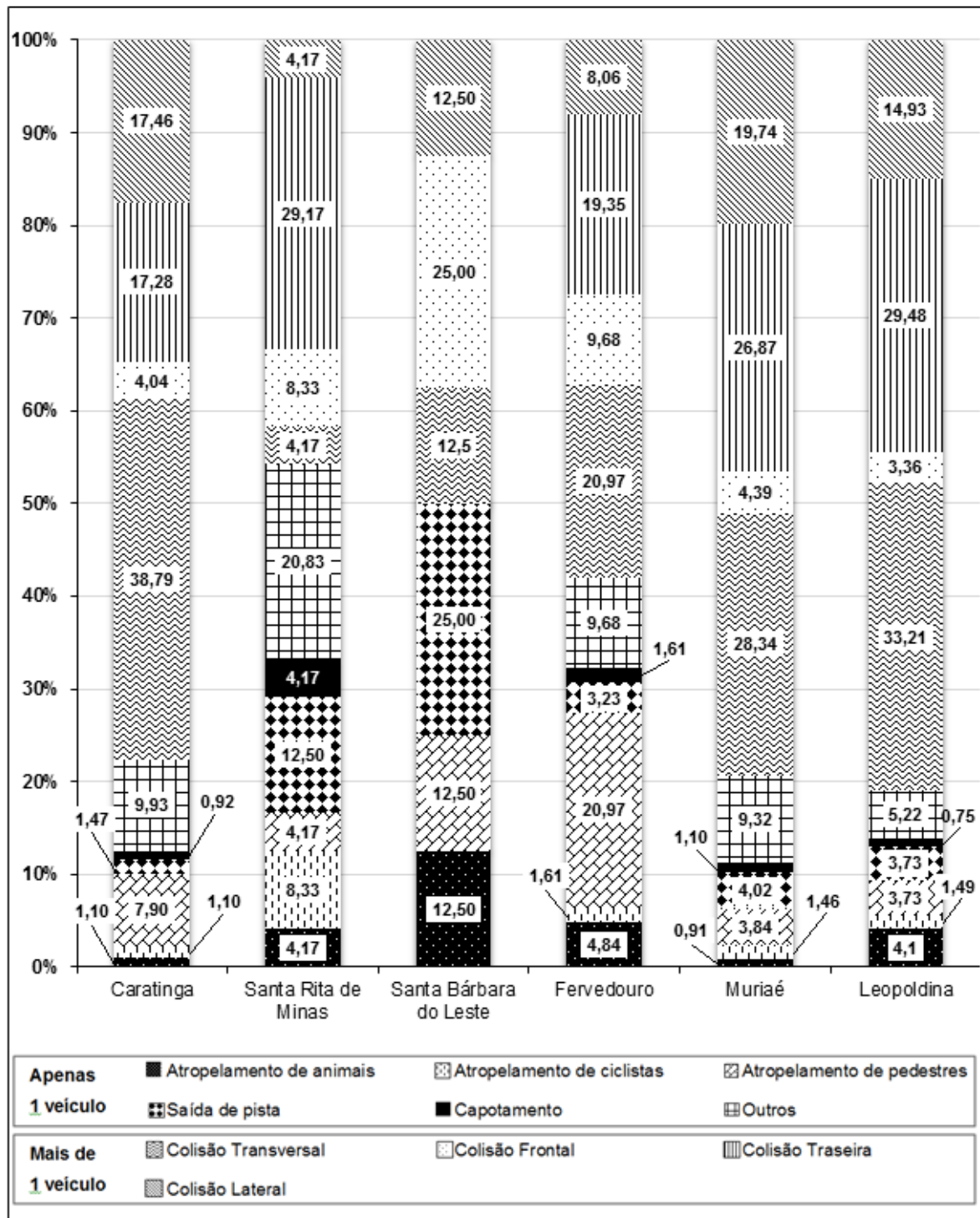
Tipo de acidente	Grau de severidade		
	Acidentes com vítimas (%)	Danos materiais (%)	Total (%)
Acidente envolvendo mais de um veículo			
Colisão transversal	10,0	7,2	8,5
Colisão frontal	3,4	0,3	1,6
Colisão traseira	16,4	12,2	14,2
Colisão lateral	3,8	3,8	3,7
Outros	2,6	3,0	2,7
Total (mais de um veículo)	36,2	26,5	30,7
Total de acidentes	100,0	100,0	100,0

Fonte: AASTHO, 2010.

Estes valores são padrões de distribuição por tipo e severidade utilizados para o cálculo dos CMFs, quando o estudo não dispõe da distribuição por tipo e severidade. Para este estudo, foi criado um banco de dados contabilizando os acidentes de 2011 a 2014, incluindo as informações necessárias para a determinação da distribuição por tipo e severidade em cada um dos trechos estudados. Portanto foram utilizados os valores da distribuição por tipo e severidade de acidentes de cada trecho obtidos a partir desse banco de dados para o cálculo dos CMFs.

Essa contabilização resultou na Tabela do Apêndice A – Tabela de distribuição percentual de acidentes por tipo de severidade na BR-116, referente ao período de 2011 a 2014, cujos valores estão representados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Distribuição percentual total de acidentes por tipo de severidade na BR-116, referentes ao período de 2011 a 2014.



Fonte: O autor

Por meio desta tabela (Apêndice A) foi possível obter o valor de ρ_{ra} que é o percentual dos acidentes ocorridos que estão relacionados à saída de pista,

colisão frontal, colisão lateral. Este valor de ρ_{ra} é utilizado para o cálculo dos CMFs: CMF_1 – Largura da faixa de rolamento e CMF_2 – Largura e tipo de revestimento do acostamento. Seus valores para cada trecho são apresentados pela Tabela 8.

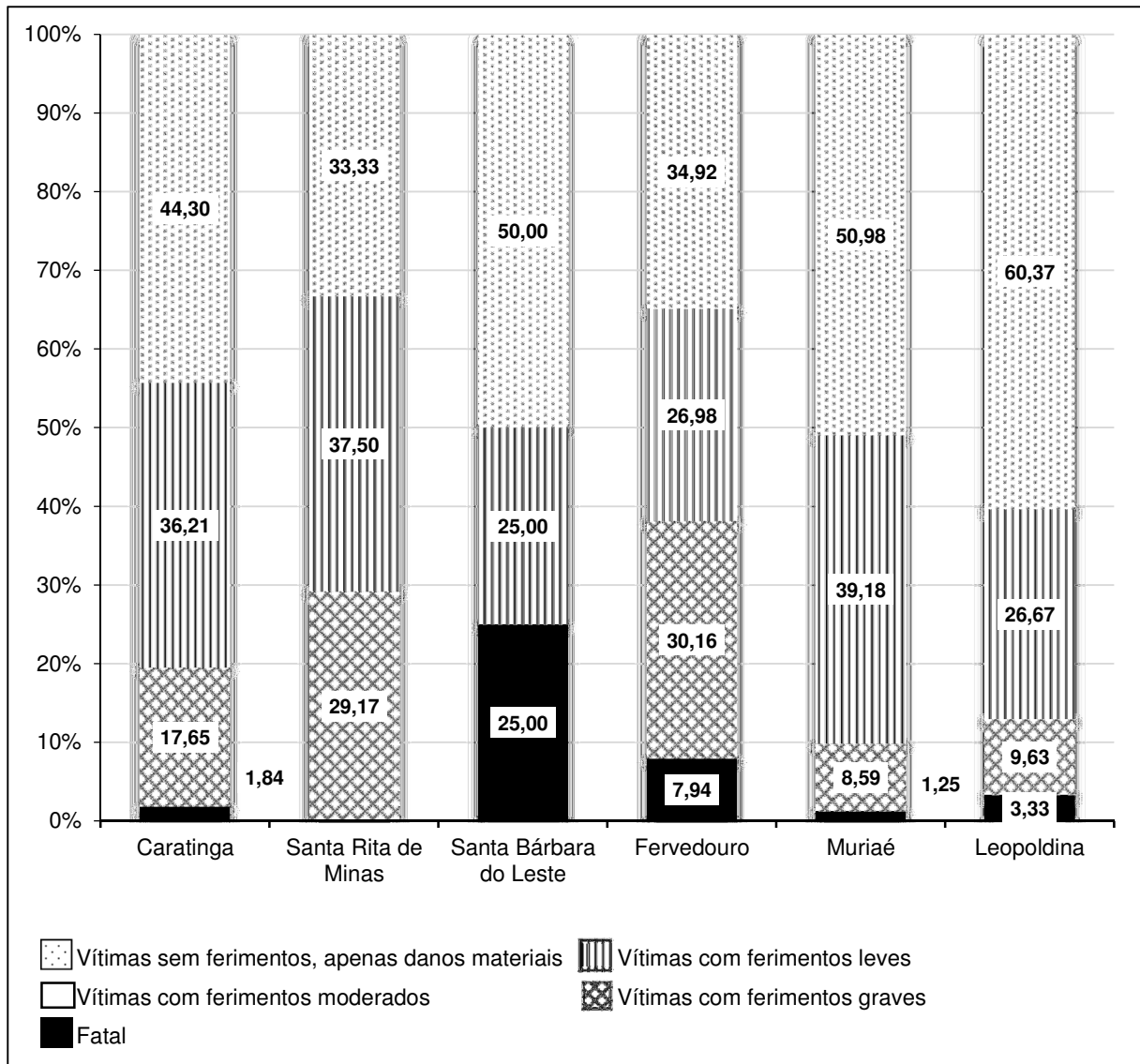
Tabela 8 – Valores de ρ_{ra}

Cidade	ρ_{ra}
Caratinga	0,230
Santa Rita de Minas	0,250
Santa Bárbara do Leste	0,625
Fervedouro	0,210
Muriaé	0,282
Leopoldina	0,220

Fonte: O autor

A tabela que demonstra a severidade dos acidentes (Apêndice B), foi construída com os dados obtidos pelo programa Dados Abertos da Polícia Rodoviária Federal, nos quais o grau de ferimento das vítimas é apresentado apenas como *grave* ou *leve*. Por esse fato, a tabela de severidade de acidentes não incluiu vítimas com ferimentos moderados. Os valores obtidos nesta tabela foram compilados no Gráfico 3 apresentado a seguir.

Gráfico 3 – Severidade dos acidentes na BR-116, referentes ao período de 2011 a 2014



Fonte: O autor

4.2.2 Determinação dos Fatores de Modificação de Acidentes (Crash Modification Factors)

Os fatores de modificação de acidentes CMFs são utilizados para adequar as características que diferem das condições base de segmentos estudados. Esse ajuste do modelo base, SPF, é feito por multiplicação sobre a equação do modelo base. Tendo seu valor diferente de 1,00 ocorrendo uma calibração, enquanto que valores iguais a 1,00 implicam em igualdade de

características ao modelo na condição base.

Para segmentos de rodovias, o HSM considera doze fatores de modificação de acidentes: largura da faixa de rolamento; largura e tipo de revestimento do acostamento; desenvolvimento, raio e comprimento da espiral da curva horizontal; superelevação da curva horizontal, valores dos greides; densidade de acessos; guia sonora central; faixa adicional; faixa de acomodação central para conversão à esquerda; condição da lateral da via; presença de iluminação e presença de fiscalização eletrônica.

Evidentemente, esses fatores não retratam por completo todas as condições existentes em uma via, tanto pelo fato de que alguns desses aspectos não são completamente conhecidos, quanto pelo fato de que alguns aspectos não são quantificáveis ou mesmo estatisticamente relevantes (SILVA, 2011).

A metodologia proposta pela AASTHO indica, entre estes fatores, quais são obrigatórios, “Requeridos”, e quais são facultativos, “Desejáveis”. No caso dos fatores facultativos, o próprio HSM apresenta os valores padrão – *Default*, que podem ser utilizados em substituição aos valores reais. Neste estudo, foram utilizados todos os fatores requeridos e nove dos dez fatores desejáveis, sendo apenas o fator “Variância da superelevação das curvas horizontais” não utilizado, devido à impossibilidade da obtenção destes dados junto ao DNIT, e pela dificuldade de deslocamento e mensuração deste fator (Quadro 4).

Quadro 4 – Dados necessários para a calibração do modelo de previsão de acidentes para rodovias de mão dupla e pista simples do HSM

Características da rodovia	Necessidade de dados		Valores <i>default</i>
	Requerido	Desejável	
Comprimento do trecho	X		Dado necessário
Volume Diário Médio Anual (VDMA)	X		Dado necessário
Comprimento das curvas horizontais e tangentes	X		Dado necessário
Raio das curvas horizontais	X		Dado necessário
Presença de espiral de transição		X	Padrão Local
Variância da superelevação das curvas horizontais		X	Sem variação
Greide		X	Considerar relevo
Largura da faixa de rolamento	X		Dado necessário

Largura e tipo de revestimento do acostamento	X		Dado necessário
Presença de iluminação		X	Não iluminado
Densidade de acessos		X	8 acessos/Km
Presença de faixa adicional		X	Ausente
Presença de faixa adicional em ambos os lados		X	Ausente
Presença de faixa de acomodação central para conversão à esquerda	X		Dado necessário
Presença de guias sonoras centrais		X	Padrão Local
Índice de obstáculos laterais à via (RHR)		X	RHR = 3
Presença de fiscalização eletrônica		X	Padrão Local

Fonte: Adaptado de AASHTO, 2010, 2010

4.2.2.1 Largura da faixa de rolamento– CMF_1

O CMF_1 é o valor de modificação relativo à diferença entre a largura da faixa de rolamento da condição base e a do trecho em questão. É definido pela equação:

$$CMF_1 = (CMF_{ra} - 1,0) \times \rho_{ra} + 1,0 \quad (5)$$

Onde:

- CMF_1 : Fator de modificação do efeito da faixa de rolamento no total de acidentes;
- CMF_{ra} : Fator de modificação do efeito da faixa de rolamento nos acidentes relacionados à largura da faixa (saída de pista, colisão frontal, colisão lateral);
- ρ_{ra} : percentual dos acidentes relacionados, onde estão incluídos os acidentes relacionados à saída de pista, colisão frontal, colisão lateral, todos obtidos na Tabela tipo e Severidade de acidentes.

Esse fator de modificação considera como condição base, a largura da faixa de rolamento igual a 3,6 m, caso em que o CMF_1 é igual a 1,0. Para a obtenção

dos valores de CMF_1 é necessário calcular o valor do CMF_{ra} o qual é obtido através da Tabela 9, que utiliza o VDMA para definir o valor do CMF_{ra} . Os CMF_{ra} s são apresentados de acordo com a Tabela 9. Estes são aplicáveis apenas aos tipos de acidentes que são afetados pela largura da faixa: saída de pista envolvendo um ou mais veículos; colisão frontal; colisão lateral, com veículos no mesmo sentido e no sentido oposto. Nos outros tipos de acidentes, a largura da faixa não exerce grande influência (AASHTO, 2010, 2010).

Tabela 9 – CMF_{ra} Influência da largura da faixa de rolamento em segmentos de rodovia de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado)

Largura da faixa de rolamento (m)	< 400	VDMA (veículos/dia) 400 até 2.000	> 2.000
≤ 2,7	1,05	$1,05+2,81 \cdot 10^{-4}(\text{VDMA}-400)$	1,50
3,0	1,02	$1,02+1,75 \cdot 10^{-4}(\text{VDMA}-400)$	1,30
3,3	1,01	$1,01+2,5 \cdot 10^{-5}(\text{VDMA}-400)$	1,05
≥ 3,6	1,00	1,00	1,00

Legenda: m – metro; VDMA – Volume Diário Médio Anual;
 < – menor; ≤ – menor ou igual;
 > – maior; ≥ – maior ou igual

Fonte: AASTHO, 2010.

Os valores de CMF_1 estão organizados por trecho na Tabela 10:

Tabela 10 – Valores de CMF_1

Cidade	Largura da faixa de rolamento (m)	CMF_{ra}	ρ_{ra}	CMF_1
Caratinga	3,30	1,05	0,230	1,012
Santa Rita de Minas	3,40	1,05	0,250	1,013
Santa Bárbara do Leste	3,10	1,30	0,625	1,188
Fervedouro	3,11	1,30	0,210	1,063
Muriaé	3,50	1,05	0,282	1,014
Leopoldina	3,90	1,00	0,220	1,000

Fonte: O autor

4.2.2.2 Largura e tipo de revestimento do acostamento– CMF_2

Os fatores de modificação de acidentes relacionados ao acostamento são aplicados em duas condições: diferenciação da largura (CMF_{wra}) e do tipo de revestimento (CMF_{tra}). Para obter a influência de CMF_{wra} e CMF_{tra} no número total de acidentes, deve-se empregar a seguinte equação:

$$CMF_2 = (CMF_{wra} \times CMF_{tra} - 1,0) \times \rho_{ra} + 1,0 \quad (6)$$

Onde:

- CMF_2 : Fator de modificação do efeito da largura e do tipo de revestimento do acostamento;
- CMF_{wra} : Fator de modificação do efeito da largura do acostamento nos acidentes relacionados (saída de pista, colisão frontal, colisão lateral);
- CMF_{tra} : Fator de modificação do efeito do tipo de revestimento do acostamento nos acidentes relacionados (saída de pista, colisão frontal, colisão lateral);
- ρ_{ra} : percentual dos acidentes relacionados, em que estão incluídos os acidentes relacionados a saída de pista, colisão frontal, colisão lateral, todos obtidos na Tabela tipo e severidade de acidentes.

Os valores padrões para a largura e o tipo de revestimento do acostamento propostos pelo HSM são: largura padrão de 1,8 m e o revestimento padrão de acostamento é pavimento asfáltico.

A Tabela 11 contém os valores de CMF_{wra} relacionados à largura do acostamento para intervalos de volumes de tráfego. Os valores de CMF_{tra} estão relacionados à largura do acostamento e ao seu tipo de revestimento como pode ser observado na Tabela 12. Tanto a largura do acostamento quanto o seu tipo de revestimento, não afetam todos os tipos de acidentes, no entanto os seguintes fatores influenciam os acidentes: saída de pista envolvendo apenas um veículo ou mais de um veículo; colisão frontal; colisão lateral com veículos no mesmo sentido e no sentido oposto (AASHTO, 2010, 2010).

Tabela 11 – CMF_{wra} Influência da largura do acostamento em segmentos de rodovia de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado)

Largura do acostamento (m)	< 400	VDMA (veículos/dia) 400 até 2000	> 2000
0,0	1,10	$1,10+2,500 \cdot 10^{-4}(\text{VDMA}-400)$	1,50
0,6	1,07	$1,07+1,430 \cdot 10^{-4}(\text{VDMA}-400)$	1,30
1,2	1,02	$1,02+8,125 \cdot 10^{-5}(\text{VDMA}-400)$	1,15
1,8	1,00	1,00	1,00
> 2,4	0,98	$0,98-6,875 \cdot 10^{-5}(\text{VDMA}-400)$	0,87

Legenda: m – metro; VDMA – Volume Diário Médio Anual;
< – menor; > – maior

Fonte: AASTHO, 2010.

Tabela 12 – CMF_{tra} Influência do tipo de revestimento do acostamento em segmentos de rodovia de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado)

Tipo de revestimento	Largura do acostamento (m)						
	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,8	2,4
Pavimento	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cascalho	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02
Composto*	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,06
Gramma	1,00	1,01	1,04	1,05	1,08	1,08	1,11

Nota: O revestimento de acostamento chamado composto é resultado da combinação de 50% de pavimento e 50% de grama.

Legenda: m – metro

Fonte: AASTHO, 2010.

Os valores obtidos com a aplicação da equação de calibração são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores de CMF_2

Cidade	CMF_{wra}	CMF_{tra}	ρ_{ra}	CMF_2
Caratinga	1	1	0,230	1,00
Santa Rita de Minas	1	1	0,250	1,00
Santa Bárbara do Leste	1	1	0,625	1,00
Fervedouro	1	1	0,210	1,00
Muriaé	1	1	0,282	1,00
Leopoldina	0,87	1	0,220	0,971

Fonte: O autor

4.2.2.3 Parâmetros da curva horizontal (desenvolvimento, raio e presença de espiral) – CMF_3

O modelo de previsão de acidentes do HSM tem como condição base para o traçado horizontal a via em tangente. Para os trechos em curva horizontal o modelo utiliza o CMF_3 para fazer a equivalência aos trechos em tangente. Para o seu cálculo é necessário conhecer o comprimento e o raio da curva horizontal, além de avaliar a existência de espiral de transição, que são incógnitas da equação seguinte:

$$CMF_3 = ((0,93 \times L_c) + (24,5 / R) - (0,012 \times S)) / (0,93 \times L_c) \quad (7)$$

Onde:

- L_c : Comprimento da curva horizontal em metros;
- R : Raio da curva horizontal em metros;
- S : Presença de espiral de transição; 1,0 caso exista espiral de entrada e saída da curva; 0 caso de ausência de espiral; 0,5 caso haja espiral em apenas um dos lados da curva.

Caso o raio de curva horizontal for inferior a 30 metros, deve-se adotar o mesmo igual a 30, o mesmo é válido para a extensão da curva, se for inferior a 30 metros, devendo-se utilizar 30 metros. Também não são considerados valores de

CMF₃ menores que 1,00 (AASHTO, 2010).

Os parâmetros, raio de curva, comprimento de curva e presença de espiral de transição, foram coletados para todos os trechos do estudo junto ao DNIT. A tabela a seguir apresenta o resultado dos valores do CMF₃ após a aplicação da equação para sua obtenção.

Tabela 14 – Valores de CMF₃

Cidade	CMF₃
Caratinga	1,00
Santa Rita de Minas	1,00
Santa Bárbara do Leste	1,00
Fervedouro	1,00
Muriaé	1,00
Leopoldina	1,00

Fonte: O autor

4.2.2.4 Superelevação da curva horizontal– CMF₄

O fator de modificação pela superelevação, relaciona o valor de superelevação máxima permitido pelo órgão gestor e/ou fiscalizador da rodovia com o valor de superelevação das curvas existentes. O fator de modificação CMF₄ é fundamentado na diferença entre a superelevação da curva horizontal e a superelevação recomendada pelo órgão gestor e/ou fiscalizador. Essa diferença é classificada em três faixas: menor que 1%, entre 1% a 2%, e maior que 2%, a qual cada faixa tem uma equação própria para a obtenção do valor do CMF₄ (AASHTO, 2010).

$$\text{CMF}_4 = 1,00 \text{ para } SV < 0,01 \quad (8)$$

$$\text{CMF}_4 = 1,00 + [6 \times (SV - 0,001)] \text{ para } 0,01 \leq SV < 0,02 \quad (9)$$

$$\text{CMF}_4 = 1,60 + [3 \times (SV - 0,02)] \text{ para } SV > 0,02 \quad (10)$$

Onde:

- CMF_4 : fator de modificação do efeito da variação da superelevação no total de acidentes;
- SV: diferença da superelevação encontrada (m/m) em relação às recomendadas pelo órgão gestor/fiscalizador da rodovia.

Os parâmetros geométricos da rodovia foram obtidos junto ao DNIT, porém o mesmo não dispunha dos valores de superelevação, portanto para o CMF_4 todos os trechos tiveram valor igual a 1,00.

Tabela 15 – Valores de CMF_4 para cada um dos trechos de estudo

Cidades	CMF_4
Caratinga	1,00
Santa Rita de Minas	1,00
Santa Bárbara do Leste	1,00
Fervedouro	1,00
Muriaé	1,00
Leopoldina	1,00

Fonte: O autor

4.2.2.5 Greides – CMF_5

A condição base para o fator relacionado ao greide é de relevo plano. A avaliação da curvatura vertical deve ser feita com base nos greides, sendo que cada greide deve ser analisado separadamente, sem distinção entre aclives e declives, conforme os valores indicados na Tabela 15.

Tabela 16 – CMF_{r5} Influência greide no número de acidentes em segmentos de rodovia de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado)

Greide aproximado (%)		
Relevo plano ($\leq 3\%$)	Greide moderado ($3\% < \text{greide} \leq 6\%$)	Greide acentuado ($> 6\%$)
1,00	1,10	1,16

Fonte: AASTHO, 2010.

A seguir, são apresentados os valores de CMF_5 para cada um dos trechos de estudo (Tabela 16).

Tabela 17 – Valores de CMF_5 para cada um dos trechos de estudo

Cidades	CMF_5
Caratinga	1,10
Santa Rita de Minas	1,00
Santa Bárbara do Leste	1,00
Fervedouro	1,00
Muriaé	1,10
Leopoldina	1,10

Fonte: O autor

4.2.2.6 Densidade de acessos– CMF_6

O modelo de previsão de acidentes proposto no HSM considera para as rodovias de pista o valor de oito acessos/km, como condição base para a densidade de acessos (DD).

O fator de modificação da densidade de acessos CMF_6 deve ser obtido pela equação:

$$CMF_6 = \frac{0,332 + (DD \times 1,609) \times [0,05 - (0,005 \times \ln VDMA)]}{0,332 + 5 \times [0,05 - (0,005 \times \ln VDMA)]} \quad (11)$$

Onde:

- CMF_6 = Fator de modificação do efeito da densidade de acessos no número de acidentes;
- DD = Densidade de acessos em acessos/km;
- VDMA = Volume de tráfego diário médio anual em veículos/dia. (AASHTO, 2010, 2010):

Na contabilização dos acessos, todos os acessos de entrada e saída em ambos os sentidos da rodovia devem ser considerados, excetuando-se aqueles com frequência de utilização igual ou inferior a uma vez ao dia.

A contagem dos acessos foi realizada com o auxílio do *software Google Earth Pro* e foi previamente realizada a demarcação de todos os trechos estudados. O resultado pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 18 – Acessos de entrada e saída em ambos os sentidos da rodovia

Cidade	L extensão (km)	Número total de acessos	Número de acessos por km
Caratinga	5,94	48	8,08
Santa Rita de Minas	1,75	8	4,57
Santa Bárbara do Leste	0,83	8	9,64
Fervedouro	2,10	30	14,29
Muriaé	11,20	52	4,64
Leopoldina	9,00	55	6,11

Fonte: O autor

Os valores obtidos com a aplicação da equação de calibração para a densidade de acessos são apresentados na Tabela 18, a seguir:

Tabela 19 – Valores de CMF₆

Cidade	VDMA (veículos / dia)	Densidade de acessos por km	CMF₆
Caratinga	5.498	8,08	1,06
Santa Rita de Minas	5.498	4,57	0,99
Santa Bárbara do Leste	5.498	9,64	1,09
Fervedouro	4.869	7,14	1,04
Muriaé	4.869	4,64	0,99
Leopoldina	6.393	6,11	1,02

Legenda: VDMA – Volume de tráfego diário médio anual em veículos/dia
 km – quilômetro
 CMF – *Crash Modification Factors*

Fonte: O autor

4.2.2.7 Guia sonora central– CMF₇

Nas rodovias de pista simples, são instaladas guias sonoras centrais, pois não há divisão central física. Embora seja uma medida de segurança, a maior parte das rodovias não dispõe desse dispositivo. Sendo assim, a condição base é a sua ausência, o que gera um fator de modificação relacionado às guias sonoras centrais (CMF₇) igual a 1,00. Para os casos onde haja guias sonoras centrais, o valor de CMF₇ no trecho deve ser adotado como igual a 0,94.

Os trechos estudados, todos sem exceção, não têm guias sonoras centrais instaladas, resultando nos valores de CMF₇ expostos na Tabela 19.

Tabela 20 – Resultados do CMF₇ para os trechos estudados

Cidade	CMF₇
Caratinga	1,00
Santa Rita de Minas	1,00
Santa Bárbara do Leste	1,00
Fervedouro	1,00
Muriaé	1,00
Leopoldina	1,00

Legenda: CMF – *Crash Modification Factors*

Fonte: O autor

4.2.2.8 Faixa adicional – CMF_8

A condição base do modelo SPF é a ausência das faixas adicionais. Para estes casos, o fator de modificação da influência das faixas adicionais (CMF_8) é igual a 1,00. A presença de faixas adicionais aumenta a segurança na rodovia, provocando redução do CMF_8 , que deve ser adotado igual a 0,75 para ambos os sentidos da via (AASHTO, 2010, 2010). No caso de duas faixas adicionais no trecho de rodovia de pista simples, o valor do CMF_8 é igual a 0,65 (Tabela 20).

Tabela 21 – Resultados do CMF_8 para os trechos estudados

Cidade	CMF_8
Caratinga	0,65
Santa Rita de Minas	0,75
Santa Bárbara do Leste	1,00
Fervedouro	1,00
Muriaé	0,75
Leopoldina	0,75

Fonte: O autor

4.2.2.9 Faixa de acomodação central para conversão à esquerda– CMF_9

As *Two-Way Left Turn Lanes* – TWLTL, cuja tradução direta é faixa de acomodação central para conversão à esquerda, são faixas localizadas no centro das rodovias de pista simples que possibilitam conversão em ambos os sentidos. Essa é uma solução pouco empregada no Brasil, mas bastante comum nos EUA e no Canadá (SILVA, 2011).

A condição base considera ausência dessa faixa, nesse caso, o fator de modificação do efeito da faixa de acomodação central para conversão (CMF_9) é igual a 1,00. Como, no universo analisado, todos os trechos estudados da rodovia têm como característica a condição base, as equações do fator de modificação para situações diferentes da condição base não serão apresentadas. Sendo assim, o CMF_9 de todos os trechos é igual a 1,00, conforme apresentado na Tabela 21

(AASTHO,2010):

Tabela 22 – Resultados do CMF_9 para os trechos estudados

Cidade	CMF_9
Caratinga	1,00
Santa Rita de Minas	1,00
Santa Bárbara do Leste	1,00
Fervedouro	1,00
Muriaé	1,00
Leopoldina	1,00

Fonte: O autor

4.2.2.10 Lateral da via – CMF_{10}

O fator de modificação devido ao efeito da lateral da via (CMF_{10}) é medido à direita da mesma, no sentido de tráfego na rodovia. Para sua mensuração, utiliza-se o índice de obstáculos laterais (*Roadside Hazard Rating –RHR*).

O fator CMF_{10} é dado pela seguinte equação:

$$CMF_{10} = \frac{e^{(-0,6869+0,0668 \times RHR)}}{e^{(-0,4865)}} \quad (12)$$

Onde:

- CMF_{10} = fator de modificação devido ao efeito da lateral da via;
- RHR = índice de obstáculos laterais medidos em uma escala de 1 a 7.
- e : base neperiana

A condição base pressupõe um índice de obstáculos laterais igual a três em uma escala de 1 a 7. Caso em que CMF_{10} é igual a 1,00 (Tabela 22).

Tabela 23 – Descrição dos sete índices de obstáculos laterais (AASHTO, 2010, adaptado)

Índice	Largura da zona livre	Inclinação do talude	Lateral da via
1	≥ 10 m	$< 1V:4H^1$	—
2	Entre 6 e 7,5 m	$\approx 1V:4H^1$	—
3	≈ 3 m	Entre $1V:3H$ e $1V:4H^2$	Relevo acidentado
4	Entre 1,5 e 3m	Entre $1V:3H$ e $1V:4H^3$	Pode haver defesa (distância entre 1,5 e 2 m)
5		$\approx 1V:3H^4$	Pode haver defesa (distância entre 0 e 1,5 m) ou obstáculos rígidos (distância entre 2 e 3 m)
6	$\leq 1,5$ m	$\approx 1V:2H^4$	Sem defesa; Exposição a obstáculos fixos (distância entre 0 e 2 m)
7		$\approx 1V:2H^5$	Sem defesa; Penhasco ou corte vertical em rocha

Notas: ¹ Motorista consegue recuperar direção;

² É possível que o motorista recupere a direção;

³ É possível que o motorista recupere a direção, entretanto há maiores chances de acidente;

⁴ Dificilmente o motorista consegue recuperar a direção;

⁵ O condutor não recupera a direção e pode sofrer acidente grave.

Fonte: AASTHO, 2010.

Os menores índices representam uma lateral da via mais desobstruída, com menor potencial de acidentes. Os resultados da mensuração do índice de obstáculos laterais e o cálculo do CMF_{10} são apresentados na Tabela 23, a seguir:

Tabela 24 – Resultados da mensuração do índice de obstáculos laterais e o cálculo do CMF_{10}

Cidade	RHR	CMF_{10}
Caratinga	7	1,31
Santa Rita de Minas	6	1,14
Santa Bárbara do Leste	6	1,14
Fervedouro	3	0,94
Muriaé	5	1,14
Leopoldina	2	0,87

Fonte: O autor

4.2.2.11 Iluminação– CMF_{11}

A condição base para iluminação é a sua ausência no trecho de estudo da rodovia, neste caso, o CMF_{11} é igual a 1,00. O fator de modificação devido à influência da iluminação CMF_{11} é determinado com base na seguinte equação:

$$CMF_{11} = [(1,0 - 0,72 \times \rho_{inr} - 0,83 \times \rho_{pnr}) \times \rho_{nr}] + 1,0 \quad (13)$$

Onde:

- CMF_{11} : fator de modificação do efeito da iluminação no total de acidentes;
- ρ_{inr} : proporção do total de acidentes noturnos em segmentos não iluminados que envolvem vítimas;
- ρ_{pnr} : proporção do total de acidentes noturnos em segmentos não iluminados com apenas danos materiais;
- ρ_{nr} : proporção do total de acidentes em segmentos não iluminados que ocorrem à noite.

A metodologia de calibração do HSM fornece os valores padrão para as proporções de acidentes noturnos em trechos não iluminados em rodovias de pista simples indicados na Tabela 24.

Tabela 25 – Proporção de acidentes noturnos em segmentos não iluminados de rodovias de pista simples (AASHTO, 2010, adaptado)

Acidentes noturnos em segmentos não iluminados	Proporção
Fatais e com vítimas (ρ_{inr})	0,382
Apenas danos materiais (ρ_{pnr})	0,618
Acidentes em relação ao valor total (ρ_{nr})	0,370

Fonte: AASTHO, 2010.

Os valores padrão apresentados pela AASTHO foram utilizados, pois os

valores reais não puderam ser determinados, devido à indisponibilidade de dados para a sua apuração (Tabela 25).

Tabela 26 – Resultados do CMF_{11} para os trechos estudados

Cidade	CMF_{11}
Caratinga	0,83
Santa Rita de Minas	1,00
Santa Bárbara do Leste	1,00
Fervedouro	1,00
Muriaé	0,78
Leopoldina	1,00

Fonte: O autor

4.2.2.12 Fiscalização eletrônica – CMF_{12}

A condição base considera a ausência de fiscalização eletrônica. Portanto o valor do fator de modificação CMF_{12} , segundo AASHTO (2010), na condição base, é igual a 1,00. Quando existe no trecho fiscalização eletrônica, esse fator passa a ser igual a 0,93.

O resultado da verificação da existência de fiscalização eletrônica nos trechos de estudo pode ser observado na Tabela 26 com os valores do CMF_{12} .

Tabela 27 – Resultados do CMF_{12} para os trechos estudados

Cidade	CMF_{12}
Caratinga	0,93
Santa Rita de Minas	0,93
Santa Bárbara do Leste	0,93
Fervedouro	1,00
Muriaé	0,93
Leopoldina	1,00

Fonte: O autor

4.2.3 Fator de Calibração Regional

Para a calibração das condições regionais, utiliza-se o Fator de Calibração Regional (Cr). O qual é aplicado a cada um dos trechos em estudo, a fim de se obter uma melhor calibração do modelo.

$$C_r = \frac{\sum \text{acidentes observados em todo o segmento}}{\sum \text{acidentes previstos em todo o segmento}} \quad (14)$$

Para tal, foi utilizado como número de acidentes observados o somatório dos quatro anos de estudo (2011 a 2014), e, para o número de acidentes previstos, foi utilizado o número previsto na condição base multiplicado por quatro para efetuar a correspondência com os quatro anos de estudo passado.

Segue a Tabela 27 com o resultado do valor do Cr para cada um dos trechos.

Tabela 28 – Resultados do valor de Cr para cada um dos trechos estudados

Cidade	Nº de acidentes observados	Nº de acidentes previstos	
Caratinga	544	16,83	
Santa Rita de Minas	24	5,07	
Santa Bárbara do Leste	8	4,12	
Fervedouro	63	7,02	
Muriaé	559	24,90	
Leopoldina	270	27,17	
Somatório	1.468	85,10	CR=17,25

Fonte: O autor

4.2.4 Aplicação da equação do modelo Highway Safety Manual calibrado

Após a obtenção dos valores dos CMFs e do valor do CR, efetuou-se a aplicação do modelo calibrado do HSM com a utilização da equação (4), conforme foi descrito no item 4.2.

A Tabela 28 apresenta o número de acidentes previstos pelo modelo do HSM calibrado e o número de acidentes ocorrido no ano de 2015.

Tabela 29 – Resultados do modelo calibrado do HSM e o número de acidentes em 2015.

Cidade	Número de acidentes	
	Previstos calibrados	2015
Caratinga	75,58	119
Santa Rita de Minas	21,86	10
Santa Bárbara do Leste	17,75	3
Fervedouro	30,29	6
Muriaé	107,36	102
Leopoldina	117,15	62

Fonte: O autor

4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO EMPÍRICO DE BAYES AO MODELO DO HIGHWAY SAFETY MANUAL

O HSM apresenta uma possibilidade de refinamento dos resultados do seu modelo através da aplicação do método empírico de Bayes (EB), que utiliza a combinação entre o número de acidentes observados no ano de 2015, $N_{\text{observado}}$, e o número de acidentes previsto na aplicação do HSM calibrado, N_{previsto} .

Segundo Silva (2011), o método empírico de Bayes usa a distribuição de probabilidade para representar os conhecimentos e as incertezas sobre o valor real da ocorrência de um determinado evento em cada unidade numa determinada população. Tem como objetivo atualizar o conhecimento sobre estas quantidades desconhecidas após a observação dos dados.

Essa atualização é feita tendo como base a distribuição de probabilidade *a priori* que é o conhecimento prévio sobre os riscos de ocorrência do evento; através da observação dos dados, estipula-se uma distribuição de probabilidade que depende dos reais riscos de ocorrência do evento em cada área e dos parâmetros que se deseja estimar. Essa distribuição das observações é conhecida como função de verossimilhança e, a partir da distribuição *a priori* e da função de verossimilhança,

é possível determinar, por meio da utilização do teorema de Bayes, a distribuição de probabilidade *a posteriori*, que reflete uma atualização dos conhecimentos anteriores.

A partir da distribuição *a posteriori*, podem ser derivadas estimativas pontuais para os reais riscos de ocorrência do evento em cada população. Tipicamente a distribuição *a posteriori* é o que impossibilita o cálculo analítico de quantidades de interesse, tais como a média *a posteriori* dos parâmetros e os seus desvios padrão.

A abordagem do método empírico de Bayes foi desenvolvida originalmente com o propósito de controlar a regressão à média em estudos antes e posteriormente para a avaliação de efeitos das medidas realizadas em segurança viária. Contudo, o Método Empírico de Bayes também é empregado para refinar as estimativas dos modelos multivariados de predição de acidentes, pela obtenção do número esperado de acidentes para cada unidade de estudo. Silva (2011) apresenta alguns autores que se utilizaram do método empírico de Bayes para refinamento de dados de predição de acidentes: Hauer, 2007; Lan *et al.*, 2009; Lord, 2006; Miaou e Lord, 2003.

Para a utilização do método empírico de Bayes, o HSM preconiza que a melhor estimativa da segurança é obtida pela combinação de duas fontes de informação: um registro de acidentes para uma dada unidade de estudo (interseção, rodovia, segmento, motorista etc.) e um modelo de previsão de acidentes, mostrando como vários fatores afetam a ocorrência dos acidentes, conforme as seguintes expressões (AASHTO, 2010):

$$N_{\text{esperado}} = W \times N_{\text{previsto}} + (1,00 - W) \times N_{\text{observado}} \quad (15)$$

Onde:

- N_{esperado} : número de acidentes esperados para o período de análise;
- N_{previsto} : número de acidentes previstos para o período de análise;
- $N_{\text{observado}}$: número de acidentes observados anteriores ao período de análise;
- W : fator de ponderação referente à SPF;

$$W = \frac{1}{1 + K \times N_{\text{previsto}}} \quad (16)$$

Onde:

- K: parâmetro de dispersão associado à SPF;
- N_{previsto} : número de acidentes previstos para o período de análise;
- W: fator de ponderação referente à SPF;

$$K = \frac{0,236 \times 1,609}{L} \quad (17)$$

Onde:

- K: parâmetro de dispersão associado à SPF;
- L: extensão do segmento analisado convertido em km.

O resultado da aplicação do método empírico de Bayes pode ser observado na Tabela 29.

Tabela 30 – Resultados da aplicação do método empírico de Bayes

Cidade	Número de acidentes	
	Previstos Empírico de Bayes	2015
Caratinga	110,77	119
Santa Rita de Minas	12,07	10
Santa Bárbara do Leste	4,62	3
Fervedouro	9,75	6
Muriaé	103,15	102
Leopoldina	71,28	62

Fonte: O autor

5 ANÁLISES E RESULTADOS

Como resultado da aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM, têm-se três valores de número de acidentes previstos: 1 - número de acidentes previstos para a condição base, 2 - número de acidentes previstos calibrado e 3 - número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes (Tabela 30).

Tabela 31 – Resultados da aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM

Cidade	Número de acidentes previstos Condição Base	Número de acidentes previstos Calibrado	Número de acidentes previstos Empírico de Bayes
Caratinga	5,42	75,58	110,77
Santa Rita de Minas	1,59	21,86	12,07
Santa Bárbara do Leste	0,75	17,75	4,62
Fervedouro	1,69	30,29	9,75
Muriaé	9,05	107,36	103,15
Leopoldina	9,55	117,15	71,28

Fonte: O autor

Como era esperado, o valor do número de acidentes previstos sofreu alteração significativa em cada uma das aplicações. Tal alteração demonstra a relevância da aplicação das metodologias de calibração e refinamento do modelo em relação à condição base e confirma o pressuposto da necessidade de calibração do modelo aos ambientes diferentes daquele onde foi desenvolvida a metodologia de previsão de acidentes do HSM.

Na primeira aplicação, condição base, o número de acidentes previstos ficou muito distante dos valores obtidos tanto no modelo calibrado quanto no modelo refinado pelo método empírico de Bayes. Enquanto os valores de número de acidentes previstos calibrado e refinado pela metodologia de Bayes apresentaram resultados com maior proximidade entre si, ou seja, uma alteração de valores menos expressiva do que aquela ocorrida entre a primeira e segunda aplicação. Isso ratifica a importância da calibração e, portanto, da correta identificação e aferição dos CMFs e do Cr, pois é nesta etapa de calibração que ocorre a maior variação no valor do

número de acidentes previstos.

Outro resultado foi obtido por meio da comparação entre as aplicações do modelo de previsão do HSM, na condição base, no calibrado, no refinado pelo método empírico de Bayes e o número de acidentes ocorridos em 2015 (Tabela 31).

Tabela 32 – Resultados das aplicações do modelo de previsão do HSM, na condição base, no calibrado, no refinado pelo método empírico de Bayes e o valor de acidentes ocorridos em 2015.

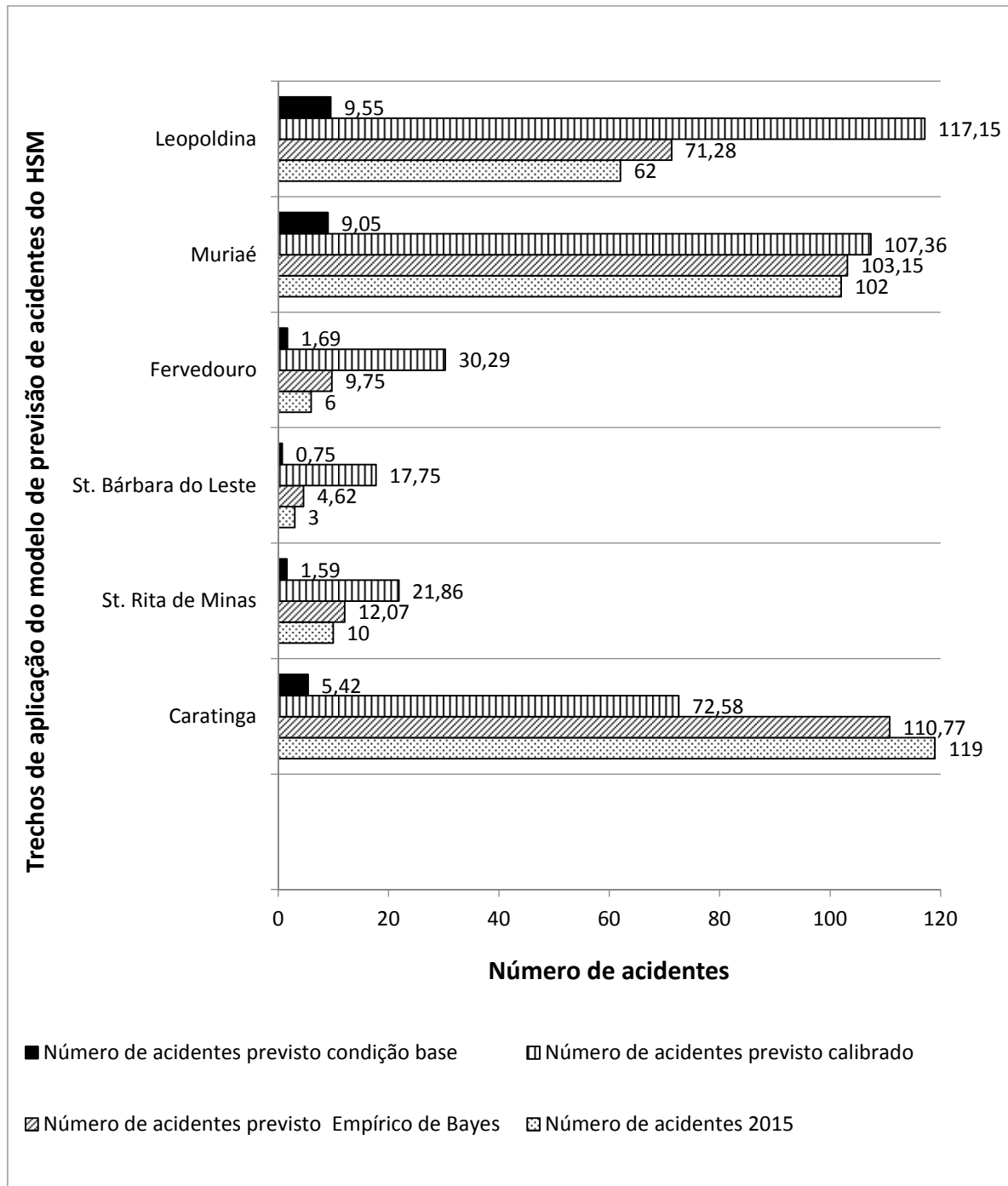
Cidade	Nº de acidentes previstos condição base	Nº de acidentes previstos calibrado	Nº de acidentes previstos Empírico de Bayes	Nº de acidentes 2015
Caratinga	5,42	75,58	110,77	119
Santa Rita de Minas	1,59	21,86	12,07	10
Santa Bárbara do Leste	0,75	17,75	4,62	3
Fervedouro	1,69	30,29	9,75	6
Muriaé	9,05	107,36	103,15	102
Leopoldina	9,55	117,15	71,28	62

Fonte: O autor

Com o auxílio da Tabela 31, é possível observar que os valores referentes ao número de acidentes previstos refinados pelo método empírico de Bayes foram os que mais se aproximaram dos valores dos acidentes ocorridos em 2015, seguidos do número de acidentes previstos calibrado. Pode-se verificar que os valores que menos se aproximaram dos números reais foram os da condição base.

Por meio do Gráfico 3, verifica-se a evolução na aproximação dos valores correspondentes ao número de acidentes previstos em cada uma das aplicações do modelo de previsão de acidentes do HSM em relação aos valores reais do número de acidentes ocorridos em 2015.

Gráfico 4 – Comparação entre as aplicações do HSM e o número de acidentes de 2015.



Fonte: O autor

Por meio da análise comparativa entre os resultados da aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM, verifica-se uma grande diferença nos valores referentes ao número de acidentes previstos na aplicação base com relação aos valores reais de acidentes ocorridos no ano de 2015. Com base nesta comparação, é possível perceber que essa discrepância pode ser provocada pelo fato de o modelo de previsão do HSM na condição base considerar apenas dois parâmetros (duas únicas variáveis presentes na equação de aplicação da condição base do modelo): VDMA e a extensão do trecho. Assim outros fatores deveriam ser similares ao ambiente viário norte-americano, o que não ocorre nos trechos em estudo, ocasionando a discrepância.

Outras condições que podem ter contribuído para essa diferença entre o número de acidentes previstos na condição base e o número de acidentes ocorridos no ano de 2015 foram: o local de coleta VDMA e a delimitação dos trechos urbanos.

O VDMA foi coletado por meio do PNCT, o qual não conta com postos nos locais de estudo. Além desta distorção pelo distanciamento entre o trecho de estudo e o local de coleta dos VDMAs, é necessário ainda observar a composição deste tráfego nos trechos em estudo, uma vez que este é composto pelo tráfego da rodovia somado ao tráfego urbano que se utiliza da rodovia como rota para trajetos urbanos.

Embora não haja dúvidas quanto ao comprimento dos trechos urbanos da BR-116, pois neste trabalho foram utilizadas as placas de sinalização que os delimitam, possibilitando sua precisa aferição, ainda sim pode existir um grau de incerteza em relação à representação do perímetro urbano. Isso porque não foi encontrada uma metodologia específica de delimitação de trechos urbanos em rodovias.

Para os trechos onde se têm os dois maiores valores de número de acidentes ocorridos em 2015, Caratinga e Muriaé, ambos com valores acima de cem acidentes por ano, observa-se sempre uma aproximação dos valores de número de acidentes previstos em relação ao número de acidentes observados no ano de 2015 quando são aplicados a calibração e o refinamento pelo método empírico de Bayes no modelo de previsão de acidentes.

Enquanto para os quatro trechos de números mais baixos de acidentes ocorridos em 2015, com valores menores do que cem acidentes por ano, Santa Rita de Minas, Santa Bárbara do Leste, Fervedouro e Leopoldina, o processo de

aplicação de calibração resultou em um afastamento do valor de número de acidentes previstos com relação ao valor real de acidentes ocorridos em 2015. Fato esse que não se repetiu na evolução entre o número de acidentes previstos calibrado para o número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes. Nessa passagem, ocorreu a aproximação do número de acidentes previstos em relação aos valores reais de acidentes ocorridos. O fato de não haver aproximação e sim afastamento no valor do número de acidentes previstos na calibração do modelo demonstra que a metodologia de calibração falhou nestes três trechos. Tal falha pode ser oriunda da própria metodologia ou da incorreta aferição de características da rodovia e do ambiente em que foram utilizadas para o cálculo dos CMFs e do Cr que resulta nos multiplicadores responsáveis pela calibração do modelo de previsão de acidentes do HSM.

Foi criada uma nova tabela com o percentual da diferença entre a aplicação refinada pelo método empírico de Bayes do modelo de previsão de acidentes do HSM e o número de acidentes ocorrido em 2015 juntamente com a extensão de cada trecho (Tabela 32).

Tabela 33 – Percentuais da diferença entre a aplicação do método empírico de bayes e o número de acidentes ocorrido em 2015 e a extensão de cada um dos trechos

Cidade	Número previsto de acidentes Empírico de Bayes	Número de acidentes 2015	Diferença (%)	Extensão (Km)
Caratinga	110,77	119	-6,92	5,94
Santa Rita de Minas	12,07	10	+20,70	1,75
Santa Bárbara do Leste	4,62	3	+54,00	0,83
Fervedouro	9,75	6	+62,50	2,10
Muriaé	103,15	102	+1,13	11,20
Leopoldina	71,28	62	+14,97	9,00

Fonte: O autor

A Tabela 32 apresenta o percentual relativo à diferença entre o número de acidentes ocorridos em 2015 e os valores encontrados pela aplicação do método de previsão de acidentes do HSM refinado pela metodologia do empírico de Bayes e a extensão de cada trecho. É possível observar que as três maiores diferenças percentuais correspondem aos três trechos de menor extensão.

A partir da Tabela 32, comparativa, foi compilada uma nova tabela com os valores das diferenças entre número de acidentes previstos para a condição base, o número de acidentes previstos calibrado e o número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes e os valores de acidentes em 2015. Gerou-se assim um número de erro de acidentes para cada uma das aplicações (Tabela 33).

Tabela 34 – Erros de acidentes para cada uma das aplicações e os valores de acidentes em 2015

Cidade	Erro no Número de acidentes previstos condição base (%)	Erro no Número de acidentes previstos calibrado (%)	Erro no Número de acidentes previstos Empírico de Bayes (%)	Número de acidentes 2015
Caratinga	-113,58	-46,42	-8,23	119
Santa Rita de Minas	-8,41	+11,86	+2,07	10
Santa Bárbara do Leste	-2,25	+14,75	+1,62	3
Fervedouro	-4,31	+24,29	+3,75	6
Muriaé	-92,95	+5,36	+1,15	102
Leopoldina	-52,45	+55,15	+9,28	62

Fonte: O autor

A partir dos valores desta Tabela 33, pode-se observar que, para todos os trechos, a aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM na sua condição base resultou em valores subestimados de número de acidentes previstos.

Para a aplicação do modelo na sua condição calibrada, apenas o trecho de Caratinga apresenta valores de número de acidentes previstos subestimados, enquanto que todos os outros trechos apresentam valores de número de acidentes previstos superestimados.

Na aplicação refinada pelo método empírico de Bayes, tem-se o mesmo cenário da aplicação do modelo calibrado, com apenas o trecho de Caratinga subestimado e todos os outros superestimados, porém com valores referentes ao número de acidentes previstos mais próximos aos valores de acidentes ocorridos em 2015.

Com base nos resultados encontrados, pode-se afirmar a importância da etapa de calibração, que é feita através dos CMFs e do Cr. Na Tabela 34, verifica-se a influência de cada um dos CMFs no resultado da calibração do modelo.

Tabela 35 – Valores de CMFs

Cidade	CMF 1	CMF 2	CMF 3	CMF 4	CMF 5	CMF 6	CMF 7	CMF 8	CMF 9	CMF 10	CMF 11	CMF 12	Π CMF
Caratinga	1,012	1,00	1,00	1,00	1,10	1,06	1,00	0,65	1,00	1,31	0,83	0,93	0,93
St. Rita de Minas	1,013	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,75	1,00	1,14	1,00	0,93	0,93
St. Bárbara do Leste	1,188	1,00	1,00	1,00	1,00	1,09	1,00	1,00	1,00	1,14	1,00	0,93	0,93
Fervedouro	1,063	1,00	1,00	1,00	1,00	1,04	1,00	1,00	1,00	0,94	1,00	1,00	1,00
Muriaé	1,014	1,00	1,00	1,00	1,10	0,99	1,00	0,75	1,00	1,14	0,78	0,93	0,93
Leopoldina	1,000	0,971	1,00	1,00	1,10	1,02	1,00	0,75	1,00	0,87	1,00	1,00	1,00

Fonte: O autor

Dos 12 CMFs apresentados pela metodologia de previsão de acidentes do HSM, apenas o CMF₄ – Superelevação, não foi calculado, pois não foram disponibilizados dados pelo Dnit, tendo assim o valor 1,00 para todos os trechos de estudo.

Para os 11 CMFs restantes, foi aplicada a metodologia descrita pelo manual do HSM. Sendo que: CMF₃ - Curva horizontal, CMF₇- Guia sonora central e CMF₉ – Faixa de acomodação central para conversão à esquerda tiveram igualmente como resultado de aplicação para todos os trechos o valor 1,00. Valor esse que não afeta a calibração e o resultado do número de acidentes previstos.

Esse resultado aponta que as condições do ambiente original de aplicação do HSM e do ambiente do estudo são as mesmas para estes CMFs, ou que a metodologia de aferição destas características não está surtindo efeito sobre a calibração dos mesmos.

Para o CMF₃ – curva horizontal, os dados coletados, comprimento da curva horizontal, raio da curva horizontal e presença de espiral de transição, junto ao órgão gestor da BR-116, o Dnit, são confiáveis e precisos. Estes são resultado de observações diretamente no projeto geométrico da rodovia que se encontra nos registros do órgão.

O CMF₇ – Guia sonora central e o CMF₉ - Faixa de acomodação central para conversão à esquerda têm os seus resultados igualmente relacionados a não existência destes elementos nas rodovias brasileiras. Sendo então correta a sua aferição e representação em relação à calibração dos resultados.

Para os oito CMFs restantes, foi obtido, em pelo menos um dos trechos de aplicação do modelo de previsão de acidentes da AASTHO, um resultado diferente de 1,00, tendo esses CMFs algum tipo de influência no processo de calibração do modelo.

O CMF₂ – Largura e tipo de revestimento do acostamento teve resultado deferente de 1,00 para apenas um dos trechos em estudo, na cidade de Leopoldina. O CMF₁₁ – Iluminação resultou em valores diferentes de 1,00 em apenas dois dos trechos em estudo, nas cidades de Caratinga e Muriaé. O CMF₅ Greide apresentou resultados diferentes de 1,00 em três dos seis trechos de estudo, Caratinga, Muriaé e Leopoldina.

Os CMFs 8 – Faixa Adicional e 12 – Fiscalização eletrônica resultaram cada um em quatro valores que diferem de 1,00, sendo para o CMF₈ nas cidades de Caratinga, Santa Rita de Minas, Muriaé e Leopoldina, enquanto que, para o CMF₁₂, os trechos são Caratinga, Santa Rita de Minas, Santa Bárbara do Leste e Muriaé.

O CMF₁ – Largura da faixa de rolamento resultou em cinco valores diferentes de 1,00, tendo sido o único trecho com valor igual a 1,00 o de Leopoldina. Já para o CMF₆ – Densidade de acessos e para o CMF₁₀ – Lateral da via, foi verificado que todos os trechos de estudo apresentaram valores diferentes de 1,00.

É preciso ressaltar ainda que os CMFs 1, 2 e 6 utilizam em sua metodologia de aferição o valor do VDMA, que, como já foi relatado anteriormente, teve seus valores coletados em pontos próximos aos trechos de estudo. Para o CMF₁ e CMF₂, o VDMA é utilizado para enquadramento do valor em uma tabela, já o CMF₆ utiliza o VDMA em uma equação. Tanto o CMF₁ quanto o CMF₆ apresentam resultados diferentes de 1,00 para todos os trechos de estudo, e o CMF₂ apresenta apenas um valor diferente de 1,00, ou seja, pode-se perceber que os resultados destes CMFs têm influência no valor de número de acidentes previstos, indicando a influência do VDMA nos valores de previsão de acidentes.

Outro fator que foi analisado quanto aos CMFs é sobre a sua tendência de indicar valores maiores que 1,00, o que demonstra que o fator representa uma maior propensão a acidentes do que no ambiente de origem do HSM, ou de indicar

valores menores que 1,00, representando que o referido fator representa uma menor propensão a acidentes do que o ambiente original do HSM.

Nesta análise, apenas o CMF₁₂ - Fiscalização eletrônica e o CMF₈ - Faixa Adicional representam características com menor risco de acidentes se comparados às características originais do HSM. Tendo ambos apresentado, em quatro dos seis resultados, valores menores que 1,00 e os outros dois valores iguais a 1,00.

O CMF₁₁ – Iluminação apresentou quatro resultados iguais a 1,00 e dois resultados acima. Isso demonstra uma tendência de que este fator represente no ambiente de estudo uma menor propensão a acidentes do que no ambiente original do HSM.

Analisando o CMF₂ – Largura e tipo de revestimento do acostamento, verificamos que o mesmo resultou em um maior número de valores iguais a 1,00, sendo 5 resultados desta forma e apenas 1 valor menor que 1,00, o que demonstra uma tímida tendência de que este fator represente uma maior segurança em relação à propensão de causar acidentes.

Observando o CMF₅ – Greide, que apresenta como resultado três valores iguais a 1,00 e três valores acima de 1,00, percebe-se que existe uma tendência de que esse fator gere maior risco de acidentes do que no ambiente original do HSM.

Os CMFs 6 – Densidade de acessos e 10 – Lateral da via representam um fator com tendência a ser mais propenso a acidentes no ambiente de estudo do que no ambiente norte-americano onde foi criado o HSM. Ambos apresentam quatro valores maiores que 1,00 e dois menores.

O CMF₁ – Faixa de rolamento é o que apresenta uma tendência mais forte de representar um maior risco no ambiente de estudo em comparação ao ambiente de origem do HSM. Em seus resultados, têm-se cinco valores maiores do que 1,00 e apenas um valor igual a 1,00.

Os outros CMFs, a saber: 3 - Curva horizontal, 7 - Guia sonora central e 9 - Faixa de acomodação central para conversão à esquerda, apresentaram todos os seus resultados iguais a 1,00, indicando uma semelhança entre os ambientes de estudo e o original do HSM em relação a esses fatores. O CMF₄ – Superelevação não permite essa análise, pois o mesmo não foi calculado pela falta de dados, sendo seu valor igual a 1,00 para todos os trechos por esse motivo.

Realizou-se ainda mais uma análise com relação aos CMFs, desta vez, foi

verificado o valor da multiplicação dos 12 CMFs. Apresentaram resultado igual a 1,00 os trechos de Fervedouro e Leopoldina, o que indica que, nestes trechos, as características da via se assemelham às de origem do HSM. Enquanto que os trechos de Caratinga, Santa Rita de Minas, Santa Bárbara do Leste e Muriaé apresentaram resultados iguais a 0,93, indicando que as características destes trechos oferecem mais segurança em relação às de origem do HSM.

No que tange ao resultado total de acidentes no segmento analisado entre Leopoldina e Caratinga, verifica-se: número de acidentes previstos condição base = 28,05; número de acidentes previstos calibrado = 366,99; número de acidentes previstos empírico de Bayes = 366,99; número de acidentes 2015 = 302

Mais uma vez, o número de acidentes previstos na aplicação com o refinamento do método empírico de Bayes foi o que mais se aproximou ao número total de acidentes ocorridos no ano de 2015. Desta vez, juntamente com a aplicação calibrada.

5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Realizou-se uma análise estatística para a verificação do grau de correlação dos resultados encontrados em comparação aos valores reais, por meio de verificação da existência e da magnitude da correlação entre as variáveis: número de acidentes previstos calibrado, número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes, número de acidentes ocorridos em 2015 e também dos CMFs utilizados na calibração do modelo.

Na análise estatística, foram realizados testes para a verificação da existência de correlação entre: número de acidentes previstos calibrado e o número de acidentes ocorridos no ano de 2015; número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes e o número de acidentes registrado em 2015; CMFs utilizados na etapa de calibração e os valores de número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes. Cabe ressaltar que os resultados do número de acidentes previstos para a condição base não foram analisados por se apresentarem muito distantes da realidade.

Primeiramente foi verificado se os dados se enquadram em uma

distribuição normal, para tal, foi utilizado o teste Shapiro – Wilk. Este teste foi aplicado com grau de confiabilidade de 95%, em que os valores testados que obtiveram resultados de p-valor abaixo de 0,05 correspondem a uma distribuição que se assemelha à distribuição normal, e aqueles que resultaram em valores do p-valor acima de 0,05 não representam distribuição semelhante à normal.

O teste de Shapiro –Wilk foi realizado no número de acidentes previstos calibrado, número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes, número de acidentes ocorridos no ano de 2015 e nos CMFs utilizados na etapa de calibração.

Para esta fase da análise estatística, foram selecionados apenas os CMFs que apresentaram resultados relevantes quanto à modificação dos resultados de número de acidentes previstos, ou seja, não serão analisados os CMFs que tiveram o valor de 1,00 como resultado para todos os trechos de estudo.

O resultado da aplicação do teste de distribuição normal pode ser observado no Quadro 5:

Quadro 5 – Resultado do teste de distribuição normal

Dado	p-valor	Tipo de distribuição
Número de acidentes previstos EB	0,095	Normal
Número de acidentes previstos Calibrado	0,184	Normal
Número de acidentes 2015	0,139	Normal
CMF ₁	0,008	Não normal
CMF ₂	0,001	Não normal
CMF ₅	0,004	Não normal
CMF ₆	0,595	Normal
CMF ₈	0,064	Normal
CMF ₁₀	0,414	Normal
CMF ₁₁	0,005	Não normal
CMF ₁₂	0,001	Não normal

Fonte: O autor

Após a aplicação do teste de verificação de distribuição normal de Shapiro – Wilk, foi possível selecionar o teste que será aplicado a cada um dos cruzamentos de verificação de correlação.

Para os cruzamentos em que os dois dados apresentam distribuição normal, foi utilizado o teste paramétrico de Pearson. Já para os cruzamentos em que pelo menos um dos dados apresenta distribuição não normal, foi utilizado o teste não paramétrico de Spearman.

O resultado da aplicação dos testes pode ser observado na Tabela 35:

Tabela 36 – Resultados dos testes de correlação de variáveis

Dado	Número de acidentes previstos Calibrado	Número de acidentes previstos EB
<i>Número de acidentes 2015</i>		
r^2	0,773	0,995**
p-valor	0,072	< 0,001**
<i>CMF₁</i>		
r^2		-0,714
p-valor		0,111
<i>CMF₂</i>		
r^2		-0,131
p-valor		0,805
<i>CMF₅</i>		
r^2		0,878*
p-valor		0,021*
<i>CMF₆</i>		
r^2		-0,220
p-valor		0,538
<i>CMF₈</i>		
r^2		0,926**
p-valor		0,008**
<i>CMF₁₀</i>		
r^2		0,338
p-valor		0,439
<i>CMF₁₁</i>		
r^2		-0,778
p-valor		0,694
<i>CMF₁₂</i>		
r^2		-0,207
p-valor		0,116

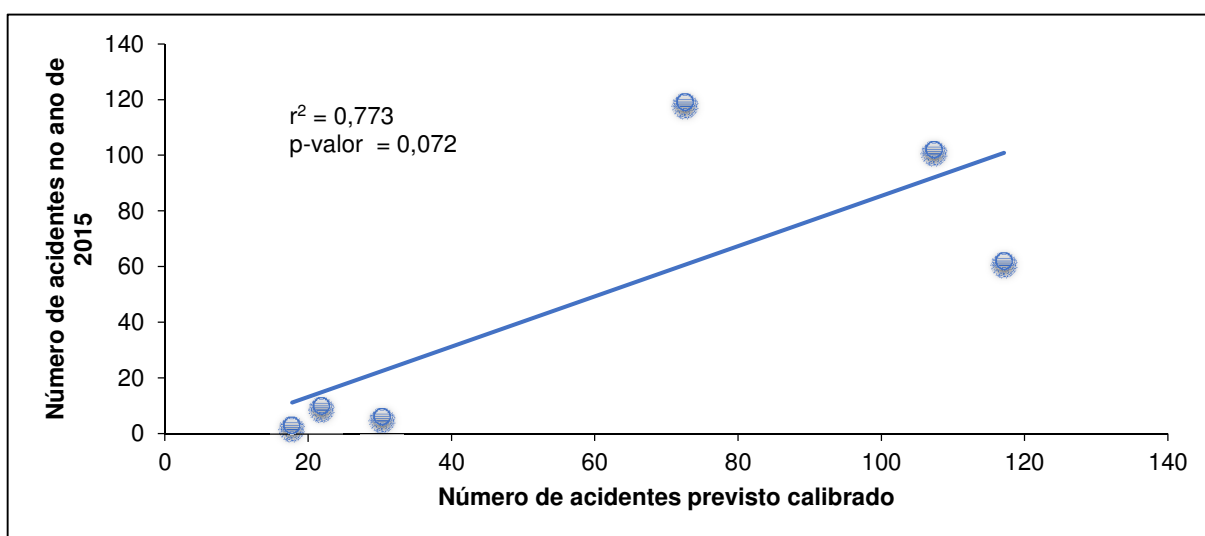
Fonte: O autor

Legenda: ** aplicação do teste de Pearson

* aplicação do teste de Spearman

O primeiro cruzamento realizado foi entre o número de acidentes previstos calibrado e o número de acidentes ocorridos no ano de 2015. Foi obtido como resultado do teste de correlação um p-valor acima de 0,05, demonstrando que não existe correlação estatisticamente significativa. Portanto não existe correlação entre os resultados do modelo de previsão de acidentes do HSM e o número de acidentes registrados em 2015 (Gráfico 5).

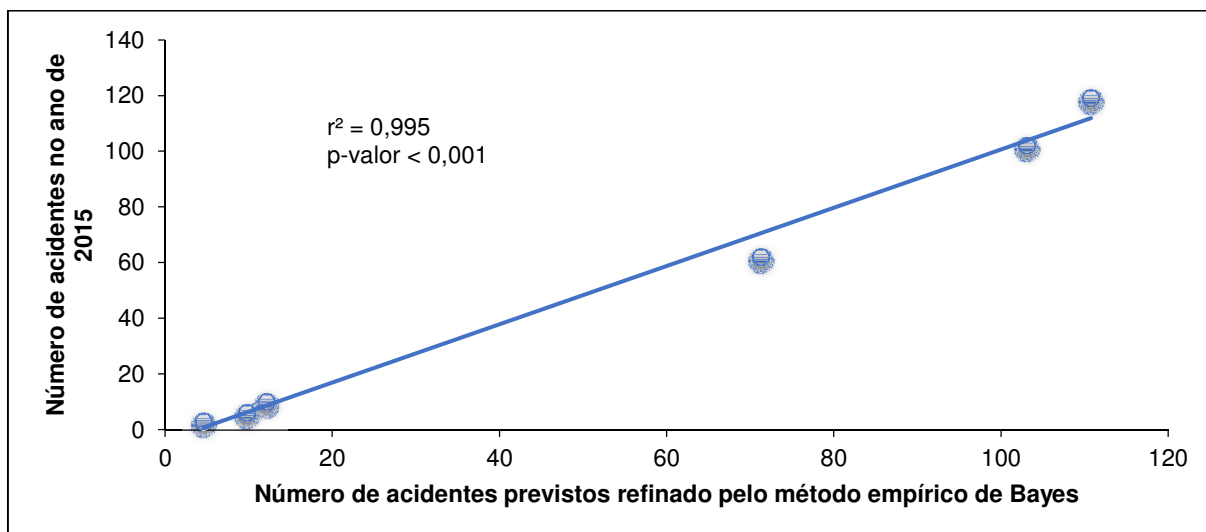
Gráfico 5 – Número de acidentes previstos calibrado *versus* número de acidentes ocorridos em 2015



Fonte: O autor

Também foi realizado um cruzamento entre o número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes e o número de acidentes ocorridos no ano de 2015. Neste caso, foi obtido como resultado um coeficiente de correlação de 0,995, indicando uma correlação muito forte entre estas variáveis. O resultado do p-valor foi menor que 0,001, o que aponta a existência de correlação estatisticamente significativa. Ou seja, existe uma ótima correlação entre os valores resultantes do modelo de previsão de acidentes do HSM para a aplicação refinada pelo método empírico de Bayes com relação aos valores reais de acidentes ocorridos no ano de 2015 (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes versus número de acidentes de 2015



Fonte: O autor

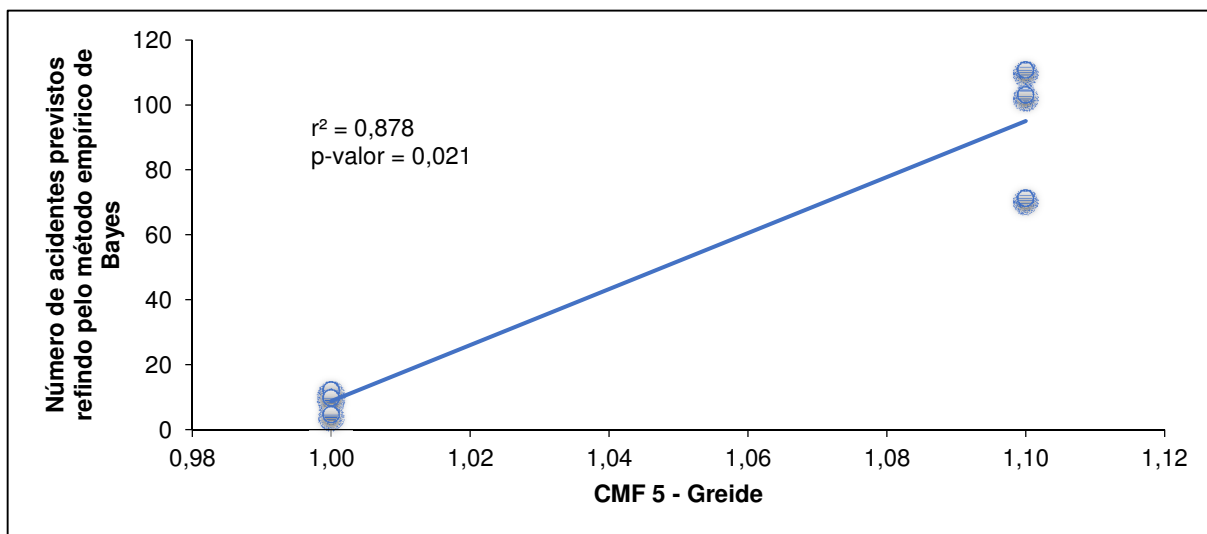
Foi verificada a correlação entre os CMFs utilizados para a calibração do modelo e o resultado da aplicação refinada do método empírico de Bayes.

Foram analisados apenas os CMFs que apresentaram, em pelo menos um dos trechos de estudo, valor diferente de 1,00. Tendo sido, portanto, eliminados os CMFs: 3 - Curva horizontal, 7- Guia sonora central e 9 – Faixa de acomodação central para conversão à esquerda.

Para os testes de correlação realizados entre o número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes e os CMFs, foram obtidos resultados de p-valor superiores a 0,05 para: CMF₁ – Largura da faixa de rolamento, CMF₂ – Largura e tipo de revestimento do acostamento, CMF₆ – Densidade de acessos, CMF₁₀ – Lateral da via, CMF₁₁ - Iluminação e CMF₁₂ – Fiscalização eletrônica. Isso indica que não há correlação estatisticamente significativa.

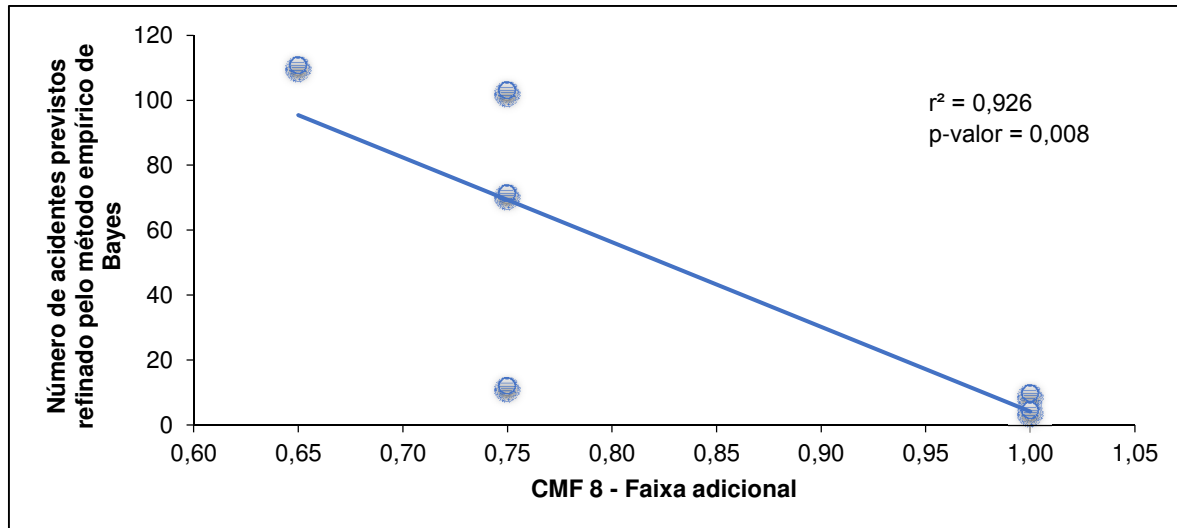
No caso do CMF₅ – greide e do CMF₈ – Faixa adicional, foram encontrados resultados do coeficiente de correlação de 0,878 para o CMF₅, indicando uma correlação forte, e de 0,926 para o CMF₈, apontando uma correlação muito forte. Os resultados de p-valor para ambos os CMFs ficaram abaixo de 0,05, a saber: 0,021 para o CMF₅ e 0,008 para o CMF₈, indicando a existência de correlação estatisticamente significativa entre estes CMFs e os valores de número de acidentes previstos da aplicação refinada pelo método empírico de Bayes (Gráficos 7 e 8).

Gráfico 7 – Número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes *versus* CMF₅



Fonte: O autor

Gráfico 8 – Número de acidentes previstos refinado pelo método empírico de Bayes *versus* CMF₈



Fonte: O autor

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos após a aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM demonstra que o modelo pode ser aplicado a rodovias de mão dupla e pista simples que cortam perímetros urbanos, servindo de ferramenta para sistemas de gestão de segurança rodoviária.

Com base na análise dos resultados, conclui-se que o modelo pode ser utilizado como ferramenta na previsão de acidentes, desde que seja utilizada a aplicação refinada pelo método empírico de Bayes, como é preconizado pelo HSM.

Como resultado deste estudo, infere-se que o número de acidentes ocorridos em rodovias de mão dupla e pista simples que cortam o perímetro urbano no Estado de Minas Gerais, Brasil, é diferente do número de acidentes ocorridos em rodovias norte americanas. Isso se dá tanto devido às características específicas do trecho de perímetro urbano estudado quanto pela diferença entre os ambientes viários brasileiro e norte americano.

Conclui-se ainda que a metodologia de calibração do modelo deve ser aperfeiçoada, visto que a mesma, neste estudo, apesar de contribuir com a maior variação de valores para a aproximação em relação aos valores reais, ainda sim apresentou resultados estatísticos que demonstram que a maioria dos fatores de modificação de acidentes utilizados nesta aplicação encontram-se ainda sem significância em relação ao resultado final da previsão do número de acidentes. Ressalta-se que a aplicação limitou-se à rodovia de mão dupla e pista simples que corta perímetros urbanos, fato este que não é considerado no modelo de previsão de acidentes do HSM, levando à conclusão de que suas características devem ser mais investigadas para o aperfeiçoamento da etapa de calibração.

O fato de o estudo ter sido feito apenas em perímetros urbanos da rodovia indica que há necessidade de adaptações, pois fatores como o volume de tráfego que cruza a rodovia e de pedestres que transitam nela; a presença de passarela para pedestres, de faixa para pedestres, de semáforos; a precisa delimitação do trecho de perímetro urbano e a criação de um banco de dados confiável e permanente não são abordados pela metodologia de previsão de acidentes do HSM. São ainda necessários estudos futuros para a verificação de correlação destes fatores com o número de acidentes ocorridos neste trecho e sua

possível inclusão para a calibração do modelo de previsão de acidentes.

Através da análise estatística efetuada é possível concluir que o greide da rodovia e a presença de faixa adicional, são fatores que estão diretamente ligados ao número de acidentes. Portanto, deve-se intervir inicialmente nestes dois fatores a fim de se alcançar uma redução do número de acidentes ocorridos nos trechos de estudo.

Cabe ainda considerar uma crítica ao modelo, uma vez que não leva em consideração os fatores climáticos e nem o fator humano na previsão do número de acidentes.

Este estudo limitou-se a trechos da BR-116 em Minas Gerais. Com a utilização de uma base de dados mais ampla e confiável, poder-se-ia estender estudos para todas as rodovias do estado, de modo a caracterizar melhor a realidade destes trechos ou ao longo de uma rodovia específica.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE AND HIGHWAY TRANSPORTATION OFFICIALS. **Higghway Safety Manual**. Washington: AASTHO, 2010.

BARBOSA, H. *et al.* Perspectivas sobre o desenvolvimento de modelos de desempenho de segurança para estradas brasileiras. In: WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH, 13., 2013. **Anais...** Rio de Janeiro: WCTR Society, 2013. 32p.

BARBOSA, H. *et al.* Safety performance models for urban intersections in Brazil. **Accident; analysis and prevention**, Oxford, v. 70, n. 2014, p. 258-266, 2014.

BASTOS, J. T. **Geografia da mortalidade no trânsito no Brasil**. 2011. 150f. Dissertação (Mestrado em Ciências)– Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

BASTOS, J. T. *et al.* Geografia da mortalidade no trânsito no Brasil. **Revista ANTT**, Brasília, v. 4, n. 1/2, p. 24-35, maio/nov. 2012.

BOFFO, G. H. **Formatos e técnicas de modelos de previsão de acidentes de trânsito**. 2011. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BRASIL. **Código de trânsito brasileiro**. 4. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2010a. (Série legislação; n. 26).

BRASIL. Ministério dos Transportes. Ministério da Justiça. **Acidentes por quilômetro (resumido)** – 01/01/2010 a 30/06/2010. 2010b. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes>>. Acesso em: 12 out. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Datasus. **Informações de Saúde: óbitos por causas externas – Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/ext10uf.def>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

COSTA, T. G.; BARBOSA, H. M. Avaliação da transferibilidade de modelos de previsão de acidentes para vias urbanas em Belo Horizonte. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTES DA ANPET, 28., 2014. **Anais...** Curitiba: Anpet, 2014. 13p.

CUNTO, F. J. C.; CASTRO NETO, M. M.; BARREIRA, D. S. Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza. **Transportes**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 55-62, 2012.

CUNTO, F. J. C.; SOBREIRA, L.; FERREIRA, S. Assessing the transferability of the Highway Safety Manual Predictive Method for Urban Roads in Fortaleza City, Brazil. **Journal of transportation engineering**, Reston, v. 141, n. 1, 8 p, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Plano nacional de contagem de tráfego**. [c201-]. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/contagem-de-trafego>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Laboratório de Transportes e Logística. Núcleo de Estudos sobre Acidentes de Tráfego em Rodovias. **Metodologia para tratamento de acidentes de tráfego em rodovias**. Florianópolis: DNIT; UFSC, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Projeto 1 – Análise e tratamento estatístico dos resultados de contagens de tráfego**. Fase 1 – Determinação do Volume Médio Diário para o ano de 2006. Produto 1 – Relatório parcial da fase Relatório parcial da fase. Florianópolis: DNIT; UFSC, 2008. (Convênio 0056/2007 – Processo: 002829/2007-31. CGPERT/DNIT e LabTrans/UFSC).

DUARTE, R. M. S. **Aplicação do método de previsão de acidentes do Highway Safety Manual em interseções do meio urbano**. 2012. 54f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, 2012.

ELVIK, R. *et al.* **The handbook of road safety measures**. 2. ed. Bingley: Emerald, 2009.

FERREIRA, S. M. P. **A segurança rodoviária no processo de planejamento de redes de transporte em meio urbano**. 2010. 350 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, 2010.

GARCÍA, D. S. P. **Método para análise da consistência geométrica de rodovias brasileiras de pista simples**. 2008. 352f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GOOGLE Earth Pro, versão 7.1.4.1529. Compilado em 27 dezembro de 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**: Relatório Executivo. Brasília: IPEA/DENATRAN/ANTP, 2006.

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

JAMES, B.; CHEN, Y.; PERSAUD, B. Assessment of the crash modification factors in the Highway Safety Manual for use in Canada. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE TRANSPORTATION ASSOCIATION OF CANADA, 2010. **Paper prepared for presentation at the Canada's Road Safety Vision Successor Plan for 2015 and Other Safety Plans Session of the 2010**. Halifax: Transportation Association of Canada, 2010. 17 p.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Década de Ação pelo Trânsito Seguro 2011-2020 é lançada oficialmente hoje (11) em todo o mundo**. 2011. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/decada-de-acao-pela-seguranca-no-transito-2011-2020-e-lancada-oficialmente-hoje-11-em-todo-o-mundo/>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Relatório global sobre o estado da segurança viária 2015**. Geneva: WHO, 2015.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Gestão da velocidade**: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área. Brasília: OPAS, 2012.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. **Dados abertos**. 2016. Disponível em: <<https://www.prp.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>>. Acesso em: 10 out.16.

SAHA, D.; ALLURI, P.; GAN, A. A Bayesian procedure for evaluating the frequency of calibration factor updates in highway safety manual (HSM) applications. **Accident; analysis and prevention**, Oxford, v. 98, p. 74-86, Jan. 2017.

SAITO, M.; BRIMLEY, B. K.; SCHULTZ, G. G. **Transportation safety data and analysis**: Volume 2: Calibration of the Highway Safety Manual and Development of New Safety Performance Functions. Salt Lake City: Traffic and Safety, Research Divisions, 2011.

SANTOS, M. C.; PITOMBO, C. S. Modelos espaciais de acidentes de trânsito com óbitos. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTES DA ANPET, 28., 2014. **Anais...** Curitiba: Anpet, 2014. 5 p.

SILVA, K. C. R. **Aplicação do Modelo de Previsão de Acidentes do HSM em Rodovias de Pista Simples do Estado de São Paulo**. 2011. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)– Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

TRANSPORTATION RESEARCH CENTER. University of Florida. **Development and Calibration of Highway Safety Manual equations for Florida Conditions**. Tallahassee: The Florida Department of Transportation Research Office, 2011. (Final Report).

WAIHRICH, D. R. L. S.; ANDRADE, M. Calibração do método de previsão de acidentes do Highway Safety Manual (HSM) para trechos rodoviários de pista dupla no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTES DA ANPET, 29., 2015. **Anais...** Ouro Preto: Anpet, 2015. p. 1434-1437.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabela de distribuição percentual de acidentes por tipo de severidade na BR-116, referentes ao período de 2011 a 2014

continua

Município/Tipo de acidente	Grau de Severidade		Total (%)
	Acidentes com vítimas (%)	Acidentes apenas com danos materiais (%)	
Caratinga			
<i>Envolvendo apenas 1 veículo</i>			
Atropelamento de animais	0,99	1,24	1,10
Atropelamento de ciclistas	1,65	0,41	1,10
Atropelamento de pedestres	14,19	0,00	7,90
Saída de pista	0,66	2,49	1,47
Capotamento	0,99	0,83	0,92
Outros	8,58	11,62	9,93
Total envolvendo apenas 1 veículo	27,06	16,60	22,43
<i>Envolvendo mais de 1 veículo</i>			
Colisão Transversal	43,56	32,78	38,79
Colisão Frontal	4,95	2,90	4,04
Colisão Traseira	9,90	26,56	17,28
Colisão Lateral	14,52	21,16	17,46
Total envolvendo mais de 1 veículo	72,94	83,40	77,57
Total Caratinga	100,00	100,00	100,00
Santa Rita de Minas			
<i>Envolvendo apenas 1 veículo</i>			
Atropelamento de animais	6,25	0,00	4,17
Atropelamento de ciclistas	12,50	0,00	8,33
Atropelamento de pedestres	6,25	0,00	4,17
Saída de pista	6,25	25,00	12,50
Capotamento	6,25	0,00	4,17
Outros	18,75	25,00	20,83
Total envolvendo apenas 1 veículo	56,25	50,00	54,17
<i>Envolvendo mais de 1 veículo</i>			
Colisão Transversal	6,25	0,00	4,17
Colisão Frontal	12,50	0,00	8,33
Colisão Traseira	18,75	50,00	29,17
Colisão Lateral	6,25	0,00	4,17
Total envolvendo mais de 1 veículo	43,75	50,00	45,83
Total Santa Rita de Minas	100,00	100,00	100,00

continua

Município/Tipo de acidente	Grau de Severidade		Total (%)
	Acidentes com vítimas (%)	Acidentes apenas com danos materiais (%)	
Santa Bárbara do Leste			
<i>Envolvendo apenas 1 veículo</i>			
Atropelamento de animais	0,00	25,00	12,50
Atropelamento de ciclistas	0,00	0,00	0,00
Atropelamento de pedestres	25,00	0,00	12,50
Saída de pista	0,00	50,00	25,00
Capotamento	0,00	0,00	0,00
Outros	0,00	0,00	0,00
Total envolvendo apenas 1 veículo	25,00	75,00	50,00
<i>Envolvendo mais de 1 veículo</i>			
Colisão Transversal	25,00	0,00	12,50
Colisão Frontal	25,00	25,00	25,00
Colisão Traseira	0,00	0,00	0,00
Colisão Lateral	25,00	0,00	12,50
Total envolvendo mais de 1 veículo	75,00	25,00	50,00
Total Santa Bárbara do Leste	100,00	100,00	100,00
Fervedouro			
<i>Envolvendo apenas 1 veículo</i>			
Atropelamento de animais	2,50	9,09	4,84
Atropelamento de ciclistas	2,50	0,00	1,61
Atropelamento de pedestres	32,50	0,00	20,97
Saída de pista	5,00	0,00	3,23
Capotamento	2,50	0,00	1,61
Outros	2,50	22,73	9,68
Total envolvendo apenas 1 veículo	47,50	31,82	41,94
<i>Envolvendo mais de 1 veículo</i>			
Colisão Transversal	20,00	22,73	20,97
Colisão Frontal	12,50	4,55	9,68
Colisão Traseira	12,50	31,82	19,35
Colisão Lateral	7,50	9,09	8,06
Total envolvendo mais de 1 veículo	52,50	68,18	58,06
Total Fervedouro	100,00	100,00	100,00

conclusão

Município/Tipo de acidente	Grau de Severidade		Total (%)
	Acidentes com vítimas (%)	Acidentes apenas com danos materiais (%)	
Muriaé			
<i>Envolvendo apenas 1 veículo</i>			
Atropelamento de animais	1,13	0,71	0,91
Atropelamento de ciclistas	3,02	0,00	1,46
Atropelamento de pedestres	7,92	0,00	3,84
Saída de pista	4,53	3,55	4,02
Capotamento	0,38	1,77	1,10
Outros	10,57	8,16	9,32
Total envolvendo apenas 1 veículo	27,55	14,18	20,66
<i>Envolvendo mais de 1 veículo</i>			
Colisão Transversal	30,57	26,24	28,34
Colisão Frontal	7,55	1,42	4,39
Colisão Traseira	14,34	38,65	26,87
Colisão Lateral	20,00	19,50	19,74
Total envolvendo mais de 1 veículo	72,45	85,82	79,34
Total Muriaé	100,00	100,00	100,00
Leopoldina			
<i>Envolvendo apenas 1 veículo</i>			
Atropelamento de animais	2,83	4,94	4,10
Atropelamento de ciclistas	2,83	0,62	1,49
Atropelamento de pedestres	9,43	0,00	3,73
Saída de pista	3,77	3,70	3,73
Capotamento	0,00	1,23	0,75
Outros	5,66	4,94	5,22
Total envolvendo apenas 1 veículo	24,53	15,43	19,03
<i>Envolvendo mais de 1 veículo</i>			
Colisão Transversal	39,62	29,01	33,21
Colisão Frontal	7,55	0,62	3,36
Colisão Traseira	16,04	38,27	29,48
Colisão Lateral	12,26	16,67	14,93
Total envolvendo mais de 1 veículo	75,47	84,57	80,97
Total Leopoldina	100,00	100,00	100,00

Fonte: O autor

APÊNDICE B – Tabela de Severidade dos acidentes na BR–116, referentes ao período de 2011 a 2014

continua

Municípios/Severidade dos acidentes	Acidentes (%)
<i>Caratinga</i>	
Fatal	1,84
Vítimas com ferimentos graves	17,65
Vítimas com ferimentos moderados	0,00
Vítimas com ferimentos leves	36,21
Vítimas sem ferimentos, apenas danos materiais	44,30
Total de acidentes	100,00
<i>Santa Rita de Minas</i>	
Fatal	0,00
Vítimas com ferimentos graves	29,17
Vítimas com ferimentos moderados	0,00
Vítimas com ferimentos leves	37,50
Vítimas sem ferimentos, apenas danos materiais	33,33
Total de acidentes	100,00
<i>Santa Bárbara do Leste</i>	
Fatal	25,00
Vítimas com ferimentos graves	0,00
Vítimas com ferimentos moderados	0,00
Vítimas com ferimentos leves	25,00
Vítimas sem ferimentos, apenas danos materiais	50,00
Total de acidentes	100,00
<i>Fervedouro</i>	
Fatal	7,94
Vítimas com ferimentos graves	30,16
Vítimas com ferimentos moderados	0,00
Vítimas com ferimentos leves	26,98
Vítimas sem ferimentos, apenas danos materiais	34,92
Total de acidentes	100,00
<i>Muriaé</i>	
Fatal	1,25
Vítimas com ferimentos graves	8,59
Vítimas com ferimentos moderados	0,00
Vítimas com ferimentos leves	39,18
Vítimas sem ferimentos, apenas danos materiais	50,98
Total de acidentes	100,00

conclusão

Municípios/Severidade dos acidentes	Acidentes (%)
<i>Leopoldina</i>	
Fatal	3,33
Vítimas com ferimentos graves	9,63
Vítimas com ferimentos moderados	0,00
Vítimas com ferimentos leves	26,67
Vítimas sem ferimentos, apenas danos materiais	60,37
Total de acidentes	100,00

Fonte: O autor