



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES E  
GESTÃO TERRITORIAL

Camila Quevedo Sobrosa

**Contribuição Metodológica para Alocação de Áreas de Escape para Veículos  
Pesados em Rodovias Brasileiras**

Florianópolis  
2023

Camila Quevedo Sobrosa

**Contribuição Metodológica para Alocação de Áreas de Escape para Veículos  
Pesados em Rodovias Brasileiras**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Orientadora: Profa. Ana Maria Benciveni Franzoni, Dra.

Coorientador: Prof.(a) Amir Mattar Valente, Dr.

Coorientador: Gustavo Garcia Otto, Dr.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Sobrosa, Camila Quevedo

Contribuição Metodológica para Alocação de Áreas de Escape para Veículos Pesados em Rodovias Brasileiras / Camila Quevedo Sobrosa ; orientadora, Ana Maria Benciveni Franzoni, coorientador, Amir Mattar Valente, coorientador, Gustavo Garcia Otto, 2023.

116 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Sistemas de Transporte. 3. Áreas de Escape. 4. Segurança Viária. 5. Veículos Pesados. I. Franzoni, Ana Maria Benciveni. II. Valente, Amir Mattar. III. Otto, Gustavo Garcia IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. V. Título.

Camila Quevedo Sobrosa

**Contribuição Metodológica para Alocação de Áreas de Escape para Veículos Pesados em Rodovias Brasileiras**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 20 de outubro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Eduardo Lobo, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

João Eugênio Cavallazzi, Dr.

Valter Zanela Tani, Dr.

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Profa. Ana Maria Benciveni Franzoni, Dra.  
Orientadora

Florianópolis, 2023.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente a minha mãe, Lenara, por aguçar a minha aptidão pelos estudos desde muito nova, com seu espírito alegre, sempre disposta a comemorar as minhas conquistas.

Ao meu esposo, Pedro Ivo, por todo o apoio e compreensão prestados durante a elaboração dessa pesquisa, por ouvir as minhas lamentações e anseios, sendo o melhor companheiro de vida que eu poderia ter. A sua presença torna a minha jornada mais leve e divertida.

A minha orientadora, professora Ana Maria, por me acolher de braços abertos no fim da pós-graduação, sempre disponível, com celeridade e gentileza.

Aos meus coorientadores professor Amir, que iniciou esta jornada como meu orientador, e Gustavo Otto, pelos conselhos sábios e dedicada participação nessa pesquisa.

Aos membros da banca avaliadora, pelo tempo despendido na leitura e pelas valiosas contribuições.

Ao Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans/UFSC), pela experiência gratificante como pesquisadora durante a pós-graduação. Também agradeço pelo acesso aos *softwares* Restituidor *as built* e Sialoc (Sistema de Apoio à Alocação de Postos de Pesagem).

Aos professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial (PPGTG) da Universidade Federal de Santa Catarina, pelos conhecimentos transmitidos e apoio prestado durante o mestrado.

## RESUMO

Segundo dados do Anuário Estatístico da Polícia Rodoviária Federal do Brasil, em 2021 ocorreram mais de cinco mil mortes nas rodovias federais, sendo 47% delas causadas por sinistros envolvendo veículos pesados. Como o transporte de cargas no país é feito majoritariamente por rodovias, são necessárias providências para reduzir o número de sinistros rodoviários com esses veículos. Estradas com declives acentuados apresentam um problema particular para caminhões pesados, devido à grande quantidade de energia de frenagem necessária para manter uma velocidade de deslocamento segura. Nesse cenário, o sistema de freios do caminhão fica suscetível a falhas mecânicas, podendo resultar em sinistros e possíveis fatalidades. As áreas de escape, normalmente pistas longas com cascalho ou areia, que permitem que a energia cinética de um veículo em movimento seja dissipada gradualmente, são projetadas para resolver este problema. Estudos comprovam que a instalação de áreas de escape é uma alternativa capaz de aumentar a segurança dos usuários das rodovias, reduzindo o número de sinistros e, ainda, diminuindo os danos materiais às transportadoras e às entidades responsáveis pela infraestrutura viária. Porém, para que esses dispositivos sejam eficazes, é necessário que sua localização seja estrategicamente planejada, visando a máxima redução possível do número de sinistros, mas também levando em consideração o fator econômico. Pensando nisso, este estudo apresenta uma metodologia de identificação de pontos críticos, aliado a um modelo multicritérios, para alocação de áreas de escape para veículos pesados em rodovias e um estudo de caso de aplicação na BR-116. O índice de alocação de áreas de escape criado mostrou-se eficaz na tarefa de indicação de trechos críticos e apresentou forte correlação com a ocorrência de sinistros com veículos pesados. Acredita-se que a metodologia pode auxiliar o planejamento deste tipo de infraestrutura, reduzindo o número de sinistros nas rodovias federais brasileiras.

**Palavras-chave:** sistemas de transporte; segurança viária; áreas de escape; veículos pesados.

## ABSTRACT

According to data from the Statistical Yearbook of the Brazilian Federal Highway Police, in 2021 there were more than five thousand deaths on federal highways, 47% of which were caused by casualties involving heavy vehicles. Since the country's freight transport is carried mostly on the highways, providences are needed to reduce the number of road casualties with these vehicles. Roads with steep slopes present a particular problem for heavy trucks, due to the large amount of braking energy required to maintain a safe travel speed. In this scenario, the truck's braking system is susceptible to mechanical failures, which may result in very serious casualties with possible fatal outcomes. Escape lanes, typically long lanes with gravel or sand that allow a moving vehicle's kinetic energy to be dissipated gradually, are designed to solve this problem. Studies prove that the installation of escape lanes can be an effective alternative to increase safety for road users, reducing the number of casualties and, in addition, reducing material damage to carriers and entities responsible for road infrastructure. However, for these devices to be effective, it is necessary that their location be strategically planned, aiming at the maximum possible reduction of the number of casualties, but also taking into account the economic factor. With this in mind, this study presents a methodology for identifying hotspots, combined with a multi-criteria model, for allocating escape lanes for heavy vehicles on highways and a case study of its application on BR-116. The escape lane allocation index created proved to be effective in the task of indicating critical sections and showed a strong correlation with the occurrence of casualties with heavy vehicles. It is believed that the methodology can help plan this type of infrastructure, reducing the number of casualties on Brazilian federal highways.

**Keywords:** transport systems; road safety; escape lanes; heavy vehicles.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre o coeficiente de atrito e a temperatura do sistema de frenagem de acordo com a qualidade do material .....	26
Figura 2 - Imagem de câmera térmica de veículo pesado na Nova Zelândia .....	26
Figura 3 - Tipos básicos de rampas de emergência nos EUA .....	28
Figura 4 - Exemplo de área de escape, com caixa de retenção aclone, na BR-376 ..	29
Figura 5 - Utilização anual da rampa de escape da BR-376 de 2012 a 2019 .....	30
Figura 6 - Veículo com carga inflamável utilizando a área de escape da BR-376/PR, km 667 .....	31
Figura 7 - Representação em planta de local adequado para instalação de área de escape.....	32
Figura 8 - Palavras-chave da pesquisa .....	37
Figura 9 - Etapas do processo de seleção de estudos relevantes .....	39
Figura 10 - Rampas de escape localizadas em Zhesang, China .....	45
Figura 11 - Metodologia de avaliação de segurança.....	48
Figura 12 - Etapas da metodologia de alocação de áreas de escape.....	51
Figura 13 - Camada georreferenciada das rodovias do SNV - versão 2023.04 .....	53
Figura 14 - VMDa resultante da modelagem do PNCT .....	54
Figura 15 - Média anual de sinistros com veículos pesados em rodovias brasileiras	59
Figura 16 - Rodovia BR-116.....	60
Figura 17 - Sinistros envolvendo veículos pesados na BR-116, de 2017 a 2023, separados por UF.....	61
Figura 18 - Quantidade de sinistros de acordo com o tipo de veículo .....	63
Figura 19 - Percentual de sinistros de acordo com o estado das vítimas .....	63
Figura 20 - Trecho 116BPR2793, localizado em área urbanas.....	65
Figura 21 – Distribuição dos dados de extensão do trecho.....	68
Figura 22 - Elementos de um <i>Boxplot</i> .....	69
Figura 23 - Boxplot dos dados de extensão do trecho .....	70
Figura 24 - Gráfico de dispersão Sinistros x Extensão do trecho.....	71
Figura 25- Distribuição dos dados de VMDa de veículos pesados .....	73
Figura 26 - Boxplot dos dados de VMDa de veículos pesados .....	73
Figura 27 - Gráfico de dispersão Sinistros x VMDa de veículos pesados .....	74
Figura 28 - Distribuição dos dados de idade média da frota .....	75

Figura 29 - Boxplot dos dados de idade da frota.....	76
Figura 30- Gráfico de dispersão Sinistros x Idade média da frota.....	76
Figura 31 - Distribuição dos dados de sinuosidade do trecho.....	77
Figura 32 - Boxplot dos dados de sinuosidade.....	78
Figura 33 - Gráfico de dispersão Sinistros x Sinuosidade do trecho.....	79
Figura 34 - Distribuição dos dados de declividade máxima do trecho.....	80
Figura 35 - <i>Boxplot</i> dos dados de declividade máxima no trecho.....	80
Figura 36 - Gráfico de dispersão Sinistros x Declividade máxima no trecho.....	81
Figura 37 - Gráfico de dispersão Sinistros x IAAE.....	84
Figura 38 - IAAE dos trechos da BR-116.....	85
Figura 39 - Trechos de maior IAAE em SP.....	86
Figura 40 - Trecho de maior IAAE na BA.....	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos mais comuns de caminhões de carga no Brasil .....	24
Quadro 2 - Estudos selecionados na etapa final do processo de revisão sistemática .....	41
Quadro 3 - Fonte dos dados coletados .....	56
Quadro 4 – Trechos da BR-116 localizados em áreas urbanas .....	65
Quadro 5 - Interpretação do coeficiente de correlação .....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sinistros com vítimas e mortes por tipo de sinistro em 2021 .....	20
Tabela 2 - Frota e número de sinistros por tipo de veículo, em 2022.....	21
Tabela 3 - Fatores considerados para instalação de áreas de escape por agências rodoviárias norte americanas .....	33
Tabela 4 - Estudos resultantes das etapas de seleção .....	40
Tabela 5 - Idade média da frota para cada tipo de veículo do RNTRC .....	56
Tabela 6 - Tipos de sinistros ocorridos na BR-116.....	62
Tabela 7 - Medidas descritivas dos dados .....	67
Tabela 8 - Resultados dos testes de correlação entre as variáveis e o número de sinistros .....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BDTD	Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CTC	Cooperativa de Transporte Rodoviário de Cargas
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA	Estados Unidos da América
ETC	Empresa de Transporte Rodoviário de Cargas
HS-WIM	<i>High Speed Weigh-in-Motion</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PBT	Peso Bruto Total
PNCT	Plano Nacional de Contagem de Tráfego
PRF	Polícia Rodoviária Federal
RNTRC	Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNV	Sistema Nacional de Viação
TAC	Transportador Autônomo de Cargas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VMDa	Volume Médio Diário anual
VMDm	Volume Médio Diário mensal
VTD	Volume Total Diário
VPN	<i>Virtual Private Network</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	18
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>18</b>
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>20</b>
2.1	SEGURANÇA VIÁRIA E SINISTROS.....	20
2.2	SISTEMAS DE FRENAGEM DE VEÍCULOS PESADOS.....	24
2.3	ÁREAS DE ESCAPE PARA VEÍCULOS PESADOS.....	27
2.4	CRITÉRIOS PARA A ALOCAÇÃO DE ÁREAS DE ESCAPE.....	31
<b>3</b>	<b>REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA</b> .....	<b>35</b>
3.1	DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DA PESQUISA.....	35
<b>3.1.1</b>	<b>Formulação da questão de investigação</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Definição dos critérios de inclusão de estudos</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Desenvolvimento da estratégia da pesquisa</b> .....	<b>37</b>
3.1.3.1	<i>Definição das ferramentas de busca</i> .....	37
3.1.3.2	<i>Definição dos termos de busca</i> .....	37
3.1.3.3	<i>Definição do processo de seleção</i> .....	38
<b>3.1.4</b>	<b>Seleção de estudos</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Extração e síntese dos dados</b> .....	<b>40</b>
3.2	RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA.....	40
<b>3.2.1</b>	<b>Identificação de pontos críticos</b> .....	<b>42</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Uso de técnicas estatísticas</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Metodologias multicritérios</b> .....	<b>46</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Metodologias de avaliação de segurança com dados escassos</b> .....	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA PARA ALOCAÇÃO DE ÁREAS DE ESCAPE</b> .....	<b>50</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES.....	50
4.2	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	50
<b>4.2.1</b>	<b>Definição do local de estudo</b> .....	<b>51</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Coleta dos dados de sinistros</b> .....	<b>51</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Coleta de dados característicos dos trechos</b> .....	<b>52</b>

4.2.3.1	<i>Sistema Nacional de Viação (SNV)</i> .....	52
4.2.3.2	<i>Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT)</i> .....	53
4.2.3.3	<i>Restituidor as built</i> .....	54
4.2.3.4	<i>Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas (RNTRC)</i> ..	55
<b>4.2.4</b>	<b>Análise estatística dos dados</b> .....	<b>57</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Cálculo do índice de Alocação de Área de Escape</b> .....	<b>57</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Hierarquização dos trechos e identificação de pontos críticos</b> .....	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>ESTUDO PARA DEMONSTRAÇÃO DA APLICABILIDADE DA METODOLOGIA PROPOSTA</b> .....	<b>59</b>
5.1	DEFINIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	59
5.2	COLETA DOS DADOS DE SINISTROS .....	61
5.3	COLETA DE DADOS CARACTERÍSTICOS DOS TRECHOS .....	64
5.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	67
<b>5.4.1</b>	<b>Extensão do trecho</b> .....	<b>68</b>
<b>5.4.2</b>	<b>VMDa de veículos pesados</b> .....	<b>72</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Idade média da frota</b> .....	<b>75</b>
<b>5.4.4</b>	<b>Sinuosidade do trecho</b> .....	<b>77</b>
<b>5.4.5</b>	<b>Declividade máxima do trecho</b> .....	<b>79</b>
5.5	CÁLCULO DO ÍNDICE DE ALOCAÇÃO DE ÁREA DE ESCAPE .....	82
5.6	HIERARQUIZAÇÃO DOS TRECHOS E IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS .....	85
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>89</b>
6.1	LIMITAÇÕES .....	90
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	90
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>92</b>
	<b>APÊNDICE A – TRECHOS SNV DA BR-116</b> .....	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE B – TRECHOS EXCLUÍDOS DAS ANÁLISES</b> .....	<b>104</b>
	<b>APÊNDICE C – DADOS DOS TRECHOS</b> .....	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE D – HIERARQUIZAÇÃO DOS TRECHOS DE ACORDO COM O IAAE</b> .....	<b>112</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes, a matriz de transportes brasileira tem como principal modal o rodoviário, sendo esse o responsável por 61% do transporte de cargas e 95% do transporte de passageiros (CNT, 2021). Porém, devido à robusta extensão da malha rodoviária federal do país, aproximadamente 120.767 km (CNT, 2021), a fiscalização torna-se uma tarefa árdua.

Um dos principais revezes do transporte rodoviário de cargas é a prática ilegal do sobrepeso, o que acarreta em má conservação das rodovias, na redução da vida útil dos veículos, no aumento do consumo de combustível e no maior risco de sinistros. As consequências desses problemas são percebidas pela degradação da pavimentação rodoviária, pelo alto custo operacional do transporte e pela diminuição da qualidade do serviço prestado. Além disso, o transporte de cargas com peso acima do permitido tem sido apontado como uma das principais causas de sinistros envolvendo caminhões no Brasil (GHISOLFI, *et al.*, 2019).

Segundo Lopes (2015), fatores como, alinhamento da estrada, estado de conservação da via, idade do veículo e a presença de veículos pesados aumentam de forma significativa a gravidade dos sinistros rodoviários. Como a maior parte do transporte de cargas do país é realizado através das rodovias, a participação de veículos pesados em sinistros rodoviários é relevante.

Cabe ressaltar que, dentre os sinistros com participação de veículos pesados, as principais causas registradas são falta de atenção do condutor, velocidade incompatível com a rodovia e defeito mecânico no veículo (PRF, 2023). A respeito dos defeitos mecânicos dos veículos pesados, um fenômeno muito comum é o chamado *fade*.

*Fade* é a perda de atrito entre disco e pastilha provocado pelo excessivo calor gerado durante a frenagem. O fator principal para ocorrência deste efeito é a variação de temperatura durante frenagens sucessivas, ou seja, na prática, diz respeito às aplicações em intervalos curtos do freio em situações de descida de serra ou então por carros de corrida que utilizam o sistema em sua capacidade máxima de operação e com baixa capacidade de recuperação. (COELHO, 2021).

Com a ocorrência do *fade*, e assim a perda da capacidade de frenagem, surge a necessidade da instalação de dispositivos de segurança que sejam capazes de dissipar a energia cinética dos veículos, como por exemplo as áreas de escape.

As áreas de escape fornecem aos motoristas a oportunidade de frear de forma segura em situações de emergência, reduzindo assim o número de sinistros causados por veículos pesados (ZANOLI, 2003).

Conforme Alves et al. (2022), dispositivos de contenção podem ser realmente eficazes no propósito de gerar segurança para os usuários das rodovias, reduzindo o número de sinistros e, além disso, causando poucos danos materiais aos transportadores de carga e aos órgãos responsáveis pela infraestrutura viária. Esses danos representam um valor significativamente menor em comparação aos danos que seriam gerados por prováveis colisões entre veículos. Todavia, para que esses dispositivos sejam eficazes, é necessário que o seu posicionamento seja estrategicamente planejado, em locais nos quais sejam realmente necessários e onde os motoristas tenham visibilidade em tempo hábil para utilizá-los.

Neste contexto, questão que norteia este trabalho é: “Como identificar os locais críticos para alocação de áreas de escape para veículos pesados em rodovias brasileiras?”.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A ocorrência de sinistros nas rodovias federais brasileiras é um dos grandes percalços da sociedade. As perdas econômicas são bastante elevadas, sendo o custo anual superior a 12 bilhões de reais, conforme o estimado em 2021. Além disso, esse infortúnio também gera perda de vidas, sendo 690 a quantidade de mortos em apenas uma rodovia (BR-116) no ano de 2021 (CNT, 2021).

Salienta-se que, apesar de os veículos pesados constituírem menos de um sexto da frota total nacional, sendo aproximadamente 4,7 milhões de veículos de carga no país, o risco e as lesões em sinistros envolvendo esses veículos é bastante agravado, devido ao seu elevado peso bruto (SILVA, 2022). Além do Peso Bruto Total (PBT) permitido destes veículos, é de interesse dos transportadores aumentar a quantidade de mercadorias carregadas, a fim de elevar o lucro obtido pelo transporte, fato que intensifica a solicitação ao sistema de freios, causando falhas mecânicas e assim elevando a probabilidade da ocorrência de sinistros (ZANOLI, 2003).

No ano de 2019, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou 12 metas a serem atingidas em todo o mundo, até 2030, para reduzir lesões e óbitos em

sinistros rodoviários. Entre essas metas está a implantação de vias com padrões técnicos que considerem a segurança no trânsito para todos os seus usuários, ou seja, é fomentado o investimento em infraestrutura de segurança viária.

Neste aspecto, uma medida mitigatória de sinistros rodoviários é a implantação de áreas de escape nas rodovias. Este tipo de dispositivo prova-se eficaz em prover segurança aos usuários das rodovias, gerando reduções na quantidade de sinistros. Além disso, o uso desse tipo de solução, por veículos desgovernados, causa poucos estragos ao bem patrimonial dos transportadores, ou seja, os danos materiais são mínimos em comparação a colisões entre veículos (ALVES et al., 2022).

Porém, para que esses dispositivos cumpram com o objetivo de reduzir o número de sinistros, de maneira econômica e eficaz, é necessária a realização de um planejamento. Para isso, são elaboradas metodologias de identificação de riscos e métodos de alocação desses equipamentos. Visto isso, é necessário que haja pesquisas neste sentido, a fim de auxiliar os órgãos de infraestrutura rodoviária na tomada de decisão, aumentando a segurança viária do país.

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos geral e específicos desta dissertação encontram-se nos subitens que seguem.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar contribuição metodológica para a alocação de áreas de escape para veículos pesados em situação de emergência nas rodovias.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Com o intuito de concretizar o objetivo geral, foram enumerados os seguintes objetivos específicos:

- a) Levantar os principais métodos para a alocação de áreas de escape, utilizados nacional e internacionalmente, por meio de uma revisão sistemática;
- b) Realizar análises estatísticas para a determinação dos critérios que possuem correlação com a ocorrência de sinistros envolvendo veículos pesados;
- c) Propor metodologia multicritérios para identificação de trechos rodoviários críticos para a alocação de áreas de escape;
- d) Apresentar estudo de caso para a demonstração da aplicabilidade da metodologia apresentada.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A presente pesquisa está organizada da seguinte maneira: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, a qual aborda sobre os veículos pesados, suas características, sinistros que os envolvem e características das áreas de escape nas rodovias. Já o Capítulo 3 apresenta o processo de revisão sistemática realizado para buscar modelos de alocação de áreas de escape. O Capítulo 4 apresenta a metodologia proposta na pesquisa, enquanto o Capítulo 5 discorre sobre os resultados da aplicação desta, em um estudo de caso. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas com a pesquisa realizada.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo, dividido em três subitens, tem o intuito de apresentar a fundamentação teórica obtida para o desenvolvimento desta pesquisa. O primeiro subitem discorre a respeito da segurança viária e dos sinistros, bem como suas principais causas. O segundo trata das características dos veículos pesados, tipos mais comuns no Brasil e, de maneira sintetizada, como funciona o processo de frenagem desses veículos. O terceiro disserta a respeito das áreas de escape para veículos pesados em situação de emergência e a sua relevância para o aumento da segurança viária. Por fim, o quarto subitem aborda sobre os principais critérios analisados para o posicionamento de áreas de escape em rodovias. Os modelos de alocação destes equipamentos são apresentados na revisão sistemática do Capítulo 3.

### 2.1 SEGURANÇA VIÁRIA E SINISTROS

Segundo a Polícia Rodoviária Federal (PRF apud CNT, 2021), o Brasil registrou mais de 64 mil sinistros nas rodovias federais no ano de 2021, sendo que, aproximadamente 80% destes (52.762) apresentaram vítimas, mortos ou feridos. Levando-se em consideração a extensão das rodovias, ocorreram em média 80 sinistros com vítimas a cada 100 km de rodovia. A causa de sinistro mais comum registrada no ano de 2021 foi colisão, como pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Sinistros com vítimas e mortes por tipo de sinistro em 2021

Tipo de sinistro	Sinistros	Percentual	Mortes
Colisão	31.796	60,2%	3.306
Saída de pista	8.211	15,6%	669
Capotamento/ tombamento	6.317	12%	354
Atropelamento	3.653	6,9%	949
Queda de ocupante	2.528	4,8%	87
Eventos atípicos	166	0,3%	19
Incêndio	47	0,1%	1
Derramamento de carga	44	0,1%	6
<b>TOTAL</b>	<b>52.762</b>	<b>100%</b>	<b>5.391</b>

Fonte: PRF apud CNT (2021)

Além disso, os sinistros rodoviários geram um elevado custo para o governo brasileiro, prejudicando a economia do país. No ano de 2021, o custo decorrente dos sinistros em rodovias federais foi de R\$12,19 bilhões (CNT, 2021).

Tratando-se de segurança viária, um termo bastante utilizado é “pontos críticos” ou “trechos críticos”. De acordo com o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 1987), um trecho crítico é aquele segmento viário que apresenta um índice de sinistros igual ou superior a um critério pré-estabelecido, independentemente do tipo de sinistro, de usuários, ou da solução adotada, podendo ser definido por métodos numéricos ou estatísticos. Por apresentarem alto risco, esses locais devem ser prioritariamente tratados, a fim de mitigar o problema apresentado.

Mesmo que a quantidade de sinistros envolvendo veículos leves seja superior à com veículos pesados, fato explicado pelo volume de tráfego superior dos automóveis nas rodovias, sabe-se que sinistros com veículos pesados trazem maior risco à vida, devido ao grande porte e impacto causado por esses (SILVA, 2022). A Tabela 2 mostra o quantitativo da frota e o número de sinistros, apurados no ano de 2022, de acordo com o tipo de veículo.

Tabela 2 - Frota e número de sinistros por tipo de veículo, em 2022

Categoria	Veículo	Frota	Total de sinistros	Sinistros com vítimas fatais
<b>Leves</b>	Automóvel	60.459.290	187.105	23.601
	Caminhonete	9.078.740	45.067	7.205
	Camioneta	4.102.821	2.821	335
	Ciclomotor	452.778	1.055	113
	Micro-ônibus	434.708	4.522	1.477
	Motocicleta	25.746.762	92.882	10.953
	Motoneta	5.372.584	10.729	830
	Quadriciclo	282	10	6
	Triciclo	42.421	40	-
	Utilitário	1.441.234	8.686	1.249
	<b>Total</b>	<b>107.131.620</b>	<b>352.917</b>	<b>45.769</b>
<b>Pesados</b>	Bonde	42	36	30
	Caminhão	3.022.315	31.654	6.952
	Caminhão trator	849.372	42.173	9.078
	Chassi plataforma	1.650	3	1
	Ônibus	688.880	23.981	10.074
	Reboque	2.119.968	4.899	1.172
	Semirreboque	1.226.863	45.698	9.547
	Trator de esteira	234	61	12

<b>Categoria</b>	<b>Veículo</b>	<b>Frota</b>	<b>Total de sinistros</b>	<b>Sinistros com vítimas fatais</b>
	Trator de rodas	36.433	284	92
	<b>Total</b>	<b>7.945.757</b>	<b>148.789</b>	<b>36.958</b>
<b>TOTAL</b>		<b>115.077.377</b>	<b>501.706</b>	<b>82.727</b>

Fonte: IBGE (2022) e PRF (2023)

Relacionando-se os dados da Tabela 2, tem-se que os veículos pesados representam aproximadamente 7% da frota total de veículos, porém, 30% dos sinistros envolvem esse tipo de veículo. Contabilizando apenas os sinistros com vítimas fatais, o percentual de veículos pesados é ainda maior, 45%, o que corrobora com a afirmação a respeito do maior impacto causado por estes veículos.

E este fato é bastante preocupante, à medida que as características topográficas das rodovias afetam de maneira muito mais abrupta os veículos de carga. Um estudo realizado na França, a respeito de sinistros rodoviários, afirma que trechos com declives maiores de 2% aumentam o risco de sinistros em cinco vezes para caminhões, enquanto apenas duas vezes para veículos de passeio, quando comparados a trechos planos (SETRA, 1993 apud ZANOLI, 2003).

Conforme um estudo realizado nos EUA, o PBT dos veículos é um fator que influencia fortemente na ocorrência de sinistros. A carga excessiva provoca defeitos que aceleram o desgaste dos componentes do veículo, como suspensão, pneus, molas, articulações e freios. O estudo citado visou a análise de sinistros com caminhões, chegando à conclusão de que 73% dos veículos que perderam o controle possuíam cargas superiores a 27 toneladas, e entre esses, 51% tiveram o superaquecimento do sistema de frenagem (BOWMAN e COLEMAN, 1990 apud ZANOLI, 2003).

Segundo Silva (2022), os principais motivos que colaboram para o aumento no número de sinistros envolvendo veículos pesados são os PBTs acima do limite permitido, a falta de manutenção periódica, a má utilização do sistema de frenagem e do freio motor pelos transportadores e a sinalização viária inadequada. Conforme o Guia Prático do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária, BR-LEGAL, uma sinalização horizontal adequada é aquela que garante as condições mínimas de segurança viária em relação a sua visualização pelos condutores dos veículos que trafegam na velocidade limite da rodovia, de forma a proporcionar tempo hábil para tomada de decisão (DNIT, 2015).

Jacob e Feypell-de La Beaumelle (2010) também alertam a respeito do perigo gerado pela prática do sobrepeso. Os autores afirmam que os transportadores que trafegam com veículos nessas condições representam risco à própria segurança e aos demais usuários da rodovia, devido ao fato de possuírem menor capacidade de frenagem, capacidade de manobra prejudicada e maior probabilidade de ocorrência de sinistros.

Vista a elevada periculosidade que envolve o tráfego de veículos pesados nas rodovias, nota-se a importância da adoção de medidas mitigatórias de sinistros com este tipo de transporte. Um exemplo dessas medidas é a instalação de equipamentos de fiscalização de excesso de peso em rodovias, como as tecnologias de pesagem em alta velocidade, High Speed Weigh-in-Motion (HS-WIM) (ARSLAN et al., 2018), as quais auxiliam na redução da prática do sobrepeso pelos transportadores. Podem também ser realizadas ações conscientizadoras, que reforcem o comportamento positivo dos motoristas, visando a maior atenção à manutenção e ao uso adequado do sistema de freios.

Analisando a problemática por outro panorama, tem-se discutido atualmente a respeito do conceito “rodovias que perdoam”. Esse tema está associado à minimização da gravidade dos sinistros por meio da própria infraestrutura das rodovias, permitindo que veículos descontrolados encontrem uma rodovia projetada para reduzir as severidades destes acidentes ou mesmo, em alguns casos, evitá-los. A ideia de uma rodovia que perdoe as falhas dos motoristas é de que esta seja planejada, desde o pavimento até a geometria, para trazer segurança aos seus usuários (OBSERVATÓRIO, 2019).

Segundo Zanolli (2003), uma ação de grande valia para a redução de sinistros têm sido a instalação de áreas de escape nas rodovias, as quais visam minimizar a periculosidade trazida por veículos desgovernados, com sistemas de frenagem ineficientes, em trechos declives. Já em locais nos quais não seja possível a instalação de uma área de escape, são necessários dispositivos de contenção nas laterais das rodovias, com tecnologias que diminuam a severidade dos impactos.

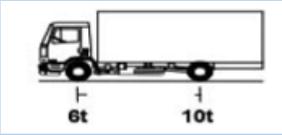
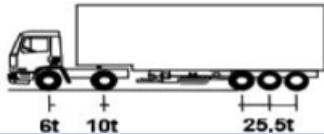
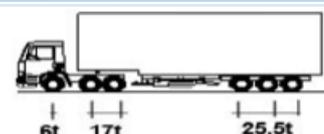
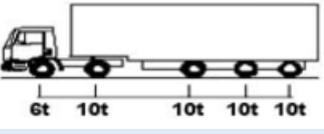
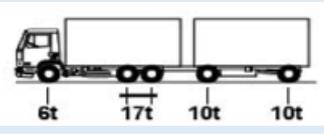
No 3º Seminário de Mobilidade Humana, Segura e Sustentável – Rodovias que Perdoam/Brasil, realizado no ano de 2021, foram apresentados estudos que definiram metas para adoção de medidas de segurança viária, as quais estão sendo incluídas pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) em novos contratos de concessão de rodovias brasileiras (OBSERVATÓRIO, 2019).

## 2.2 SISTEMAS DE FRENAGEM DE VEÍCULOS PESADOS

Sendo o transporte de cargas no Brasil majoritariamente rodoviário, aproximadamente 61%, tem-se um elevado volume de tráfego de veículos pesados nas rodovias federais do país (CNT, 2021). O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), disponibiliza todas as informações de contagem de tráfego, por meio do Plano Nacional de Contagem (PNCT). Para este fim, foram instalados 228 equipamentos nas rodovias federais administradas pelo DNIT, e com esses foi possível obter os dados de Volume Médio Diário mensal (VMDm), Volume Médio Diário anual (VMDa) e Volume Total Diário (VTD) para cada categoria elencada no PNCT, por sentido da rodovia (DNIT, 2016).

Segundo Paulucci et al. (2020), os tipos de caminhões mais utilizados nas rodovias brasileiras são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos mais comuns de caminhões de carga no Brasil

	Nomenclatura DNIT	Silhueta	PBT estimado
<b>Caminhão simples</b>	2C		16 toneladas
<b>Caminhão trucado</b>	3C		23 toneladas
<b>Caminhão + Semirreboque</b>	2S3		41,5 toneladas
<b>Caminhão + Semirreboque</b>	3S3		48,5 toneladas
<b>Caminhão + Semirreboque</b>	2I3		46 toneladas
<b>Caminhão trucado + reboque</b>	3C2		43 toneladas

Fonte: Adaptado de Paulucci (2020)

Outro dado relevante para a caracterização dos veículos de transporte de carga é a idade da frota. Segundo a pesquisa “Perfil dos Caminhoneiros” da CNT (2019), a idade média dos caminhões brasileiros chega a 15,2 anos, 1,3 ano a mais do que o apurado na edição de 2016 da mesma pesquisa, quando a idade média dos veículos era de 13,9 anos. Afirma-se que a idade dos caminhões de transportadores autônomos é de 18,4 anos, enquanto os que pertencem a empresas de transporte têm em média 8,6 anos.

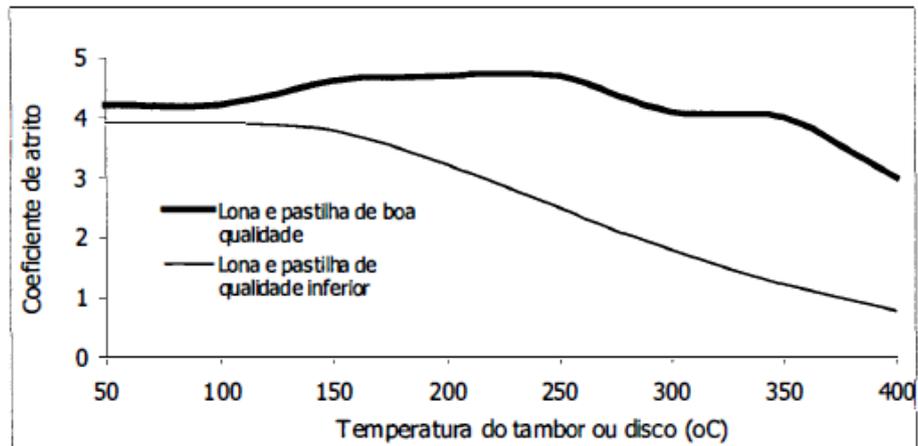
A idade da frota e o estado de conservação dos veículos de transporte são dados relevantes, pois, levando-se em consideração os pesos elevados destes veículos, é ideal para a segurança viária que haja sistemas de freios eficazes. Segundo Silva (2022), a ocorrência de sinistros com veículos pesados está fortemente atrelada ao mau funcionamento do sistema de frenagem, seja por falta de manutenção ou por desbalanceamento dos esforços entre as rodas.

A respeito dos sistemas de frenagem desses veículos, os tipos mais comuns de freios veiculares são os freios a tambor e a disco, sendo os primeiros os mais utilizados nas rodas traseiras e raramente nas dianteiras, com uso predominante em veículos médios e pesados. O uso dos freios a tambor justifica-se pelo seu alto fator de freio, superior aos a disco, entretanto, são mais sensíveis a temperatura. Atingidas temperaturas elevadas, em torno de 400°C a 530°C, esse tipo de freio pode apresentar perda de eficiência, afetando os coeficientes de atrito que regem o contato entre a lona e o tambor. Já o sistema de freios a disco, composto de pastilhas acopladas aos chassis e um disco ligado ao eixo da roda, proporciona maior área de atrito e, assim, melhor comportamento em relação às altas temperaturas, resistindo até cerca de 800 a 900°C. Porém, os freios a disco tendem a parar as rodas após sofrerem a pressão das pastilhas que os comprimem, logo, podem ocorrer paradas bruscas que ocasionam derrapagens (SILVA, 2022).

A resistência a elevadas temperaturas é uma característica importante para um sistema de frenagem, já que, como ocorre no caso de rodovias declives, a frenagem severa converte rapidamente o atrito em calor, tornando o aquecimento dos freios inevitável, podendo ocorrer o *fade* (ZANOLI, 2003, p. 24).

De acordo com Zanoli (2003), independente do sistema de freios utilizado no veículo, o fator mais importante para a resistência ao *fade* é a qualidade do material, como mostra o gráfico da Figura 1. Logo, é de suma importância a realização de manutenções veiculares periódicas.

Figura 1 - Relação entre o coeficiente de atrito e a temperatura do sistema de frenagem de acordo com a qualidade do material



Fonte: Zanoli (2003)

Observando-se a Figura 1, é possível verificar que o aumento da temperatura, seja nos freios a tambor ou a disco, tende a reduzir o coeficiente de atrito, prejudicando também a capacidade do sistema de frenagem de parar o veículo. Além disso, quando se trata de um sistema de qualidade inferior, essa perda de atrito é ainda mais acentuada.

Neste panorama, uma nova tecnologia para a detecção de problemas nos sistemas de frenagem está sendo empregada pelas autoridades da Nova Zelândia: as câmeras térmicas. A polícia utiliza o equipamento para descobrir defeitos nos freios e, assim, retirar veículos potencialmente perigosos da estrada. A Figura 2 apresenta uma das imagens realizadas por este equipamento (THE BRAKE REPORT, 2021).

Figura 2 - Imagem de câmera térmica de veículo pesado na Nova Zelândia



Fonte: The Brake Report, 2021

Os incidentes envolvendo veículos pesados no país são responsáveis por 20% dos sinistros rodoviários, tendo esses maior probabilidade de serem fatais. Essa situação levou à necessidade de investir em novas tecnologias para identificar possíveis falhas nos freios, a fim de evitar possíveis danos. Segundo as autoridades locais, a tecnologia é bastante prática, permitindo testes de freio em quaisquer tipos de terrenos e veículos. Além disso, é possível aferir a temperatura em cada roda individualmente, logo, se a imagem térmica mostrar um tambor ou disco com temperatura diferente dos demais é possível que haja algum problema, então são realizadas inspeções adicionais (THE BRAKE REPORT, 2021).

Já nos EUA, no estado do Kentucky, foi instalado em 2005 um Sistema Integrado de Execução de Segurança e Proteção, o qual é considerado um sistema avançado, auxiliado por computador e integrado, a fim de auxiliar a fiscalização de veículos comerciais e melhorar a eficiência da segurança rodoviária. Nesse sistema são utilizadas diferentes tecnologias para a identificação de superaquecimento no sistema de frenagem de caminhões, como câmeras térmicas e *scanners* a laser e contíguos a faixa de rolamento. Segundo o Departamento de Transportes dos Estados Unidos, os dispositivos de inspeção térmica permitem que os inspetores vejam equipamentos potencialmente defeituosos ou com mau funcionamento devido ao calor, os quais poderiam não ser detectados em uma avaliação visual (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2008).

### 2.3 ÁREAS DE ESCAPE PARA VEÍCULOS PESADOS

Existem diversos tipos de dispositivos para a contenção de veículos pesados, normalmente localizados na lateral da pista de rolamento, em áreas especiais chamadas áreas de escape.

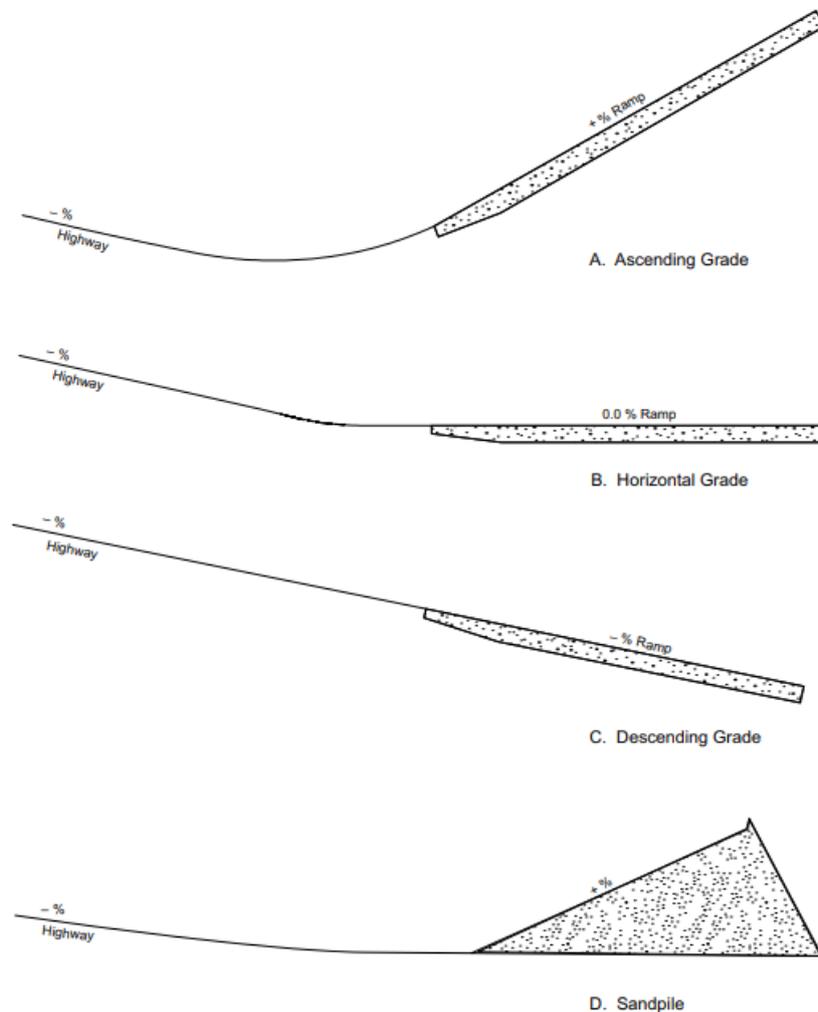
*A área de escape, ou zona livre, é a área lateral à pista de rolamento que seja traspassável, sem obstruções e sem obstáculos fixos, podendo ser utilizada por veículos errantes para recobrar o controle ou chegar a uma parada segura (DNIT, 2015).*

Os principais dispositivos utilizados nessas áreas são as rampas de gravidade, as quais têm o intuito de reduzir a energia cinética dos veículos através da força da gravidade exercida pelo trecho a cive, os montes de areia, que visam amortecer o impacto dos veículos e as caixas de retenção, que podem estar cheias

de areia ou brita, utilizando do atrito entre esses materiais e o veículo para cessar a sua velocidade (SILVA, 2022).

Segundo a AASHTO (2018), as rampas de gravidade (gravity ramps), montes de areia (sandpiles) e caixas de retenção (arrester beds) também são os tipos mais comuns de rampas de escape nos EUA. Dentro dessas categorias, predominam quatro projetos básicos de rampas de fuga de emergência: os montes de areia e três tipos de leitos de caixas de retenção, de grau descendente, grau horizontal e grau ascendente, como ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Tipos básicos de rampas de emergência nos EUA



Fonte: AASHTO (2018)

Já a Figura 4 apresenta um exemplo de área de escape localizada no Brasil, na rodovia BR-376, a qual possui uma caixa de retenção repleta de material granular

em trecho ativo, proporcionando assim a parada dos veículos por gravidade e também por atrito.

Figura 4 - Exemplo de área de escape, com caixa de retenção ativa, na BR-376



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

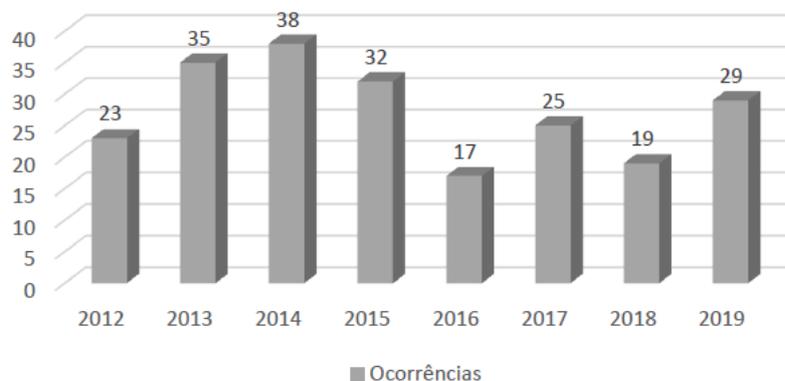
Segundo Wazaki (2022), entre as décadas de 1950 e 1960, as áreas de escape foram criadas nos Estados Unidos, como uma alternativa de aumentar a segurança nas rodovias. Essa necessidade se deu pela presença de veículos cada vez maiores e mais pesados no transporte de cargas norte-americanas. Depois disso, o uso deste tipo de dispositivo foi sendo disseminado mundialmente, sendo que, atualmente o sistema mais utilizado no Brasil é a caixa de brita, como a mostrada na Figura 4. Esse sistema é composto por uma caixa repleta de pedregulho, cascalho, britas e outros tipos de materiais, e tem o intuito de parar o veículo, cujas rodas afundam na caixa de retenção, por meio do atrito entre a sua parte inferior e o material granular (WAZAKI, 2022).

Câmara, Silva e Gava (2018) realizaram um estudo a respeito da viabilidade de uma área de escape brasileira, localizada na BR-376. Segundo os autores, a existência de uma área de escape é capaz de reduzir significativamente o número de sinistros, principalmente no caso de sinistros sem vítimas, que, embora sejam

menos graves, são mais numerosos e representaram parcela significativa dos custos rodoviários.

Paulucci et al. (2020) também apresenta um estudo na rodovia BR-376, analisando os dados de uma área de escape instalada pela concessionária Arteris S/A no trecho do km 671, entre as cidades de Curitiba/PR e Garuva/SC. A área citada possui uma rampa de 132 metros de comprimento e uma declividade média de 4%. O gráfico abaixo, Figura 5, mostra a quantidade de caminhões que utilizaram a área de escape do ano de 2012 a 2019.

Figura 5 - Utilização anual da rampa de escape da BR-376 de 2012 a 2019



Fonte: Paulucci et al. (2020)

Conforme a empresa Arteris S/A (2022a), a área de escape citada no estudo, no km 671, primeira construída pela concessionária no Brasil, foi utilizada 304 vezes e salvou mais de 430 vidas. Outro dispositivo de segurança, também na BR-376, km 667, localizada na descida da Serra do Mar, na ligação entre os estados do Paraná e Santa Catarina, já foi utilizada 145 vezes, salvando 289 vidas desde a sua inauguração em novembro de 2019. A Figura 6 mostra um dos sinistros evitados nesta área, em agosto de 2022, envolvendo um caminhão com carga inflamável. A concessionária afirma que a instalação destes dispositivos, utilizando projetos inovadores que aliam infraestrutura e tecnologia, é de enorme eficiência para a segurança viária (ARTERIS, 2022b).

Figura 6 - Veículo com carga inflamável utilizando a área de escape da BR-376/PR, km 667



Fonte: Arteris (2022b)

Outra concessionária que utiliza áreas de escape para veículos pesados é a Perkons. Afirma-se que essas medidas são necessárias, pois em pouco mais de um ano foi contabilizado que aproximadamente 40% dos veículos pesados que trafegam na BR-376 possuem falhas mecânicas. A empresa reitera que a instalação de áreas de escape, somada à fiscalização de velocidade e sinalização eficiente, indicando locais de risco de tombamento, reduziram cerca de 34% do número de vítimas fatais com veículos de carga entre 2014 e 2015 na rodovia citada (PERKONS, 2016).

#### 2.4 CRITÉRIOS PARA A ALOCAÇÃO DE ÁREAS DE ESCAPE

Como visto anteriormente, as áreas de escape para veículos pesados são capazes de reduzir consideravelmente o número de sinistros nas rodovias. Porém, como a maioria das obras de infraestrutura, a instalação destes equipamentos é onerosa, e, portanto, não pode ser realizada ao longo de todas as rodovias. Por isso, há a necessidade de selecionar locais específicos para essa finalidade, aqueles que terão a maior efetividade no objetivo de aumentar a segurança viária.

Conforme Câmara, Silva e Gava (2018), o projeto de implantação de uma área de escape pode ser inviabilizado economicamente caso a possível redução no número de sinistros seja baixa, ou o número de vítimas fatais não tenha perspectiva de ser reduzido. Portanto, é necessária uma avaliação bastante criteriosa dos locais com elevados números de sinistros e mortes devido à perda do sistema de freios em trechos com declividades acentuadas.

Corroborando com essa afirmação, Silva (2022) cita que o primeiro requisito para um local ser candidato a instalação de áreas de escape é possuir um alto índice de acidentalidade, sendo considerado um trecho crítico. Além disso, verifica-se se o local oferece boas condições topográficas, espaço suficiente para as dimensões dos dispositivos de segurança no lado direito da via, pista normalmente ocupada pelos veículos pesados, facilitando sua entrada. A Figura 7 mostra a representação em planta de um local considerado adequado pelo autor para a instalação de área de escape.

Figura 7 - Representação em planta de local adequado para instalação de área de escape



Fonte: Silva (2022)

Salienta-se que, para iniciar o projeto de implantação de uma área de escape, é necessário obter informações sobre as rodovias, como o índice de sinistros, velocidades de tombamento em curvas horizontais, análise da temperatura

de sistemas de freios e principalmente sobre a topografia do local, a fim de alocar os dispositivos de contenção. Tendo posse dessas informações, deve-se levar em consideração questionamentos como: “o problema pode ser minimizado através de placas de sinalização?”, “existem ocorrências com veículos desgovernados na região em análise?” e “existem locais adequados para a implantação desses dispositivos de segurança?” (FREITAS et al, 2021).

O estudo de Freitas et al. (2021) cita uma pesquisa realizada com agências rodoviárias norte americanas, a fim de elencar quais os principais fatores considerados para a determinação da necessidade de implantação de áreas de escape. O resultado dessa pesquisa encontra-se sintetizado na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores considerados para instalação de áreas de escape por agências rodoviárias norte americanas

Fatores considerados	Número de agências
Ocorrência de sinistros com veículos desgovernados	14
Comprimento do declive	8
Porcentagem de inclinação	8
Porcentagem de caminhões	5
Condições no final do declive	4
Tráfego diário médio	3
Curvatura horizontal	3
Gravidade dos sinistros	1
Disponibilidade de faixa de domínio	1
Topografia	1

Fonte: Oliveira (2020) apud Freitas et al. (2021)

Observando a Tabela 3, percebe-se que a ocorrência de sinistros é o fator mais citado pelas agências, seguido de fatores relacionados às características geométricas da rodovia, como comprimento do declive e porcentagem de inclinação.

A Associação Americana de Rodovias (AASHTO, 2018) elaborou um livro sobre as políticas de desenho geométrico de rodovias, e nele cita algumas instruções sobre a alocação de rampas de escape:

- Fatores como topografia, comprimento e porcentagem da inclinação, velocidade potencial, economia, impacto ambiental e experiência de colisão devem ser considerados para a implantação destes dispositivos;

- As rampas de escape devem estar estrategicamente localizadas a fim de interceptar o maior número de veículos desgovernados, como na parte inferior do declive e em pontos intermediários ao longo do declive;
- As rampas de fuga devem ser localizadas à direita da estrada, onde trafegam os veículos pesados, pois em rodovias com várias faixas podem haver dificuldades para os veículos fora de controle deslocarem-se para as faixas da esquerda;
- Deve ser determinada a velocidade máxima que um veículo fora de controle pode atingir no local proposto, pois essa velocidade pode então ser usada como a velocidade mínima de projeto para a rampa. A velocidade de entrada de 130 a 140 km/h, recomendada para projetos, destina-se a representar uma condição extrema e, portanto, não deve ser usada como base para selecionar locais de rampas de escape;
- Uma rampa de escape, ou rampas se as condições indicarem a necessidade de mais de uma, deve ser localizada sempre que os declives forem de inclinação e comprimento que apresentem um risco substancial de caminhões desgovernados e as condições topográficas permitam a construção.

A AASHTO (2018) também recomenda o uso de um sistema chamado Grade Severity Rating System (FHWA, 1989), o qual analisa as operações em grades utilizando o limite de temperatura de *fade* pré-determinada para estabelecer uma velocidade de descida segura para os trechos inclinados. O software também pode ser usado para determinar as temperaturas dos freios esperadas em intervalos de 0,8 km ao longo da descida. Os locais onde as temperaturas do freio excederem o limite recomendado indicam os pontos nos quais podem ocorrer falhas no sistema de frenagem.

Com a finalidade de levantar quais os modelos de alocação de áreas de escape existentes na literatura, foi realizada uma revisão sistemática sobre o tema, apresentada no capítulo que segue.

### 3 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

De maneira distinta de uma revisão narrativa, geralmente utilizada para fornecer uma descrição histórica do desenvolvimento da teoria de um tópico, uma revisão sistemática é uma pesquisa quantitativa, uma meta-análise que visa o relato de resultados quantitativos semelhantes (SIDDAWAY; WOOD; HEDGES, 2019 apud GALVÃO e RICARTE, 2019).

A realização de revisões sistemáticas, atualmente disseminadas entre as diversas áreas do conhecimento, iniciou-se na área médica, devido a necessidade de pesquisas baseadas em evidências e que reunissem o maior número possível de estudos relevantes para a pesquisa, independentemente da localização ou dos autores das publicações. Uma revisão sistemática baseia-se em princípios como: transparência, igualdade e ampla cobertura da pesquisa. Seguindo esses princípios, essa deve aprimorar os métodos utilizados, a fim de coletar e sintetizar evidências empíricas anteriores (THORPE et al., 2005).

Tendo em vista a necessidade de identificar os métodos de alocação de áreas de escape para veículos pesados em situação de emergência, utilizados nacional e internacionalmente, foi realizada uma revisão sistemática de literatura, com o objetivo de detectar quais são as análises realizadas e os critérios utilizados.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DA PESQUISA

O processo de revisão sistemática realizado nessa pesquisa teve como base a metodologia apresentada por Donato e Donato (2019). As autoras apresentam um guia para compreender e realizar uma revisão sistemática, que, de acordo com o estudo, deve ser executada seguindo as seguintes etapas:

- a) Formulação de uma questão de investigação;
- b) Definição dos critérios de inclusão de estudos;
- c) Desenvolvimento uma estratégia de pesquisa;
- d) Seleção de estudos;
- e) Extração de dados;
- f) Síntese dos dados;
- g) Análise dos resultados.

### **3.1.1 Formulação da questão de investigação**

O primeiro passo da estratégia de busca que rege uma revisão sistemática é a definição da questão de investigação. Logo, antes de iniciar a busca pelos trabalhos nas bases de pesquisa, deve-se responder perguntas como: o que buscar, quais estudos considerar, qual será a extensão da busca, entre outras (BRIZOLA e FANTIN, 2016).

Donato e Donato (2019) sugerem que a pergunta de pesquisa não seja muito restrita, a fim de não limitar a identificação de estudos, mas também não seja muito abrangente, o que pode trazer uma quantidade elevada de títulos irrelevantes à pesquisa. Na presente dissertação, a ideia foi buscar a maior quantidade possível de estudos relacionados a áreas, ou equipamentos direcionados a veículos pesados em rodovias. Logo, a questão norteadora da pesquisa foi: “Como são alocados equipamentos, áreas de segurança ou áreas de escape para veículos pesados em rodovias?”.

### **3.1.2 Definição dos critérios de inclusão de estudos**

Anterior à realização das buscas por estudos nas bases de pesquisa, deve-se definir quais serão os critérios de inclusão adotados. O primeiro critério adotado nesta dissertação foi a data de publicação, sendo incluídos apenas estudos publicados nos últimos 10 anos - a partir de 2013. Além disso, foram incluídos apenas estudos escritos nos idiomas português e inglês, que tivessem disponibilidade de conteúdo completo e que possuísem aderência com as palavras-chave escolhidas, as quais serão apresentadas nos subitens que seguem.

Posterior à busca nas bases de pesquisa, critérios de relevância, medida pelo número de citações, data de publicação e aderência com o tema também foram adotados.

### 3.1.3 Desenvolvimento da estratégia da pesquisa

A estratégia de pesquisa elaborada foi executada em três etapas: definição das ferramentas de busca, definição dos termos de busca e definição do processo de seleção.

#### 3.1.3.1 Definição das ferramentas de busca

Nessa etapa foram definidas quais bases de pesquisa seriam utilizadas e como ocorreria o acesso a elas. Levando em consideração a relevância científica, a abrangência de conteúdos cadastrados e a disponibilidade de acesso, foram selecionadas as seguintes bases de pesquisa: Scopus, Web of Science, IEEE Xplore e Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). As bases Scopus e BDTD possuem livre acesso, enquanto as demais foram acessadas através da rede privada virtual, Virtual Private Network (VPN), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

#### 3.1.3.2 Definição dos termos de busca

Com o intuito de responder à pergunta de pesquisa, foram elencadas palavras-chave relacionadas a alocação de equipamentos ou áreas para caminhões em rodovias, apresentadas na Figura 8.

Figura 8 - Palavras-chave da pesquisa

ALOCÇÃO	ÁREAS DE ESCAPE	VEÍCULOS PESADOS	RODOVIAS
<i>Allocation</i> (alocação)	<i>Escape areas</i> (áreas de escape)	<i>Heavy vehicles</i> (veículos pesados)	<i>Carriageways</i> (estradas)
<i>Placement</i> (posicionamento)	<i>Escape lanes</i> (pistas de escape)	<i>Weight vehicles</i> (veículos pesados)	<i>Freeways</i> (autoestradas)
<i>Locating</i> (localização)	<i>Escape ramps</i> (rampas de escape)	<i>Lorries</i> (caminhões)	<i>Highways</i> (autoestradas)
<i>Install</i> (instalação)	<i>Safety/ Security Equipments</i> (equipamentos de segurança)	<i>Trucks</i> (caminhões)	<i>Motorways</i> (autoestradas)
			<i>Roads</i> (rodovias)

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

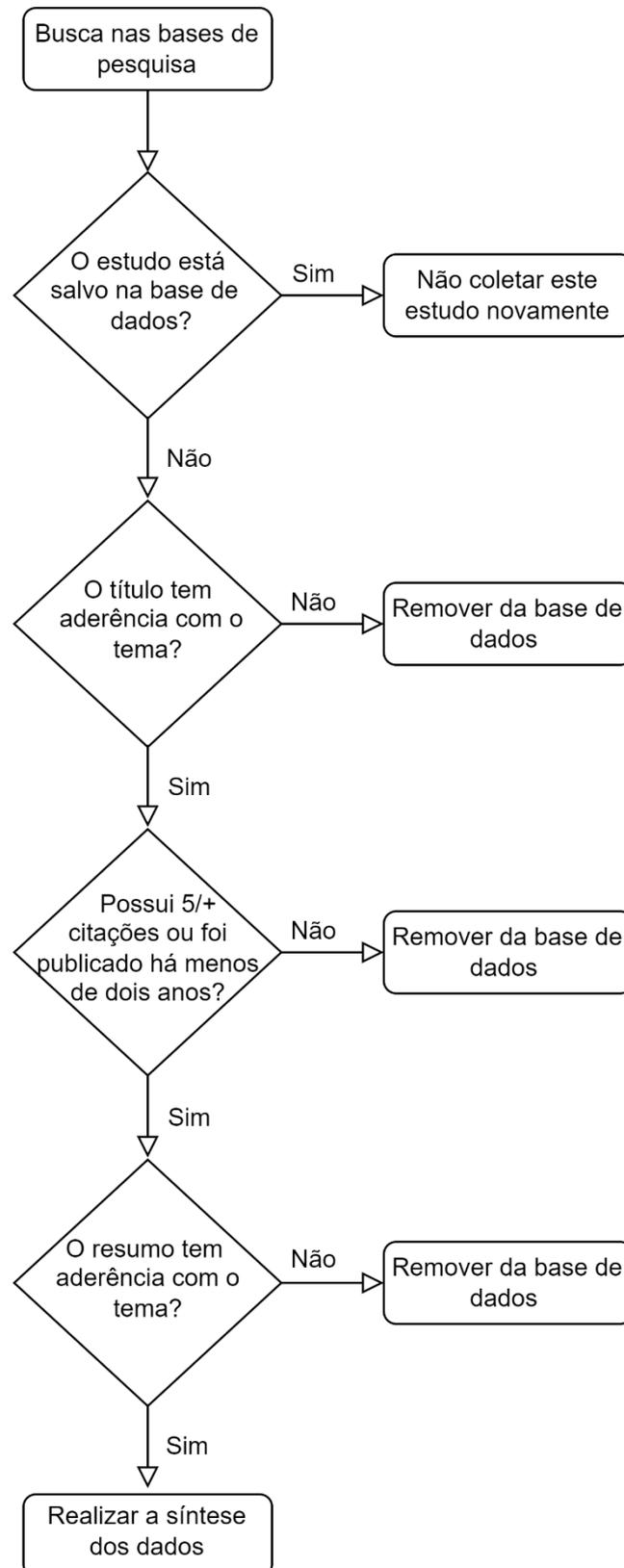
Selecionadas as palavras-chave, formulou-se os seguintes termos de busca:  
*(Allocation OR Placement OR Locating OR Install) AND (Escape areas OR Escape lanes OR Escape ramps OR Safety Equipment OR Security Equipment) AND (Truck OR Lorry OR Weight vehicle OR Heavy vehicle) AND (Highway OR Road OR Motorway OR Carriageway OR Freeway)*

Os termos de busca acima foram utilizados para as pesquisas em todas as bases de dados citadas anteriormente, exceto na *Scielo*, onde os termos foram utilizados em língua portuguesa.

### 3.1.3.3 *Definição do processo de seleção*

O fluxograma apresentado na Figura 9 ilustra as etapas que compuseram o processo de seleção de estudos relevantes realizado.

Figura 9 - Etapas do processo de seleção de estudos relevantes



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

### 3.1.4 Seleção de estudos

A seleção de estudos foi realizada conforme as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 9. Primeiramente foram feitas as buscas nas bases de pesquisa, filtradas de acordo com a presença dos termos de busca, com os idiomas e as datas de publicação determinadas. Logo depois, as informações gerais dos estudos encontrados nessas buscas, como autores, título, resumo, DOI, entre outras, foram armazenadas em planilha eletrônica, base de dados.

Depois do armazenamento desses dados, foi possível realizar os demais filtros de seleção: remoção dos estudos duplicados, leitura e filtro dos títulos, filtro por relevância, leitura e filtro dos resumos e leitura completa para a realização da síntese dos dados.

Cabe ressaltar que o critério de relevância utilizado foi o de número de citações, sendo removidos da base de dados os estudos com menos de 5 citações, com exceção dos estudos mais atuais, com data de publicação inferior a dois anos.

### 3.1.5 Extração e síntese dos dados

A partir da leitura integral dos estudos resultantes do processo de seleção, pôde-se extrair informações pertinentes, como o tema principal abordado, a metodologia utilizada e os resultados obtidos. Os resultados obtidos no processo de revisão sistemática serão apresentados no item seguinte.

## 3.2 RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA

A Tabela 4 apresenta o número de estudos resultantes de cada uma das etapas de seleção realizadas.

Tabela 4 - Estudos resultantes das etapas de seleção

Etapa do processo de seleção	Estudos selecionados
1. Busca nas bases de pesquisa	4185
2. Remoção dos estudos duplicados	3759
3. Filtro pelos títulos	132
4. Filtro por relevância	106

Etapa do processo de seleção	Estudos selecionados
5. Filtro por resumos	26
6. Leitura completa dos estudos	14

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No Quadro 2 estão apresentados resumidamente os dados extraídos dos estudos selecionados pela metodologia de revisão sistemática realizada. Agrupou-se as pesquisas de acordo com o principal tema abordado, sendo os principais: identificação de pontos críticos (hotspots), uso de técnicas estatísticas para a identificação de fatores de risco, metodologias multicritérios e metodologias de avaliação de segurança com dados escassos.

Quadro 2 - Estudos selecionados na etapa final do processo de revisão sistemática

Enfoque	Referência	Título	Métodos utilizados
Identificação de pontos críticos	Colak et al. (2018)	Hot spot analysis based on network spatial weights to determine spatial statistics of traffic accidents in Rize, Turkey	SIG, Hot Spot Analysis e Kernel Density
	Gudes et al. (2017)	Investigating articulated heavy-vehicle crashes in Western Australia using a spatial approach	SIG e métodos analíticos espaço-temporais
	Mbarek et al. (2021)	A new model for black spots identification using Weighted Severity Index	Índice ponderado de gravidade
	Park, Lord e Lee (2014)	Finite mixture modeling for vehicle crash data with application to hotspot identification	Modelo de mistura finita e modelo binomial negativo
Uso de técnicas estatísticas para a identificação de fatores de risco	Duvvuri, Pulugurtha, e Mathew (2022)	Modeling injury severity of crashes involving trucks: Capturing and exploring risk factors associated with land use and demographic in addition to crash, driver, and on-network characteristics	Modelo de probabilidades proporcionais parciais
	Alrejjal, Farid e Ksaibati (2021)	A correlated random parameters approach to investigate large truck rollover crashes on mountainous interstates	Diferentes modelos <i>logit</i>

Enfoque	Referência	Título	Métodos utilizados
	Dong et al. (2017)	Estimating Factors Contributing to Frequency and Severity of Large Truck-Involved Crashes	Modelos <i>logit</i> multinomial e modelo binomial negativo
	Li et al. (2021)	Effects of emergency escape ramps on crash injury severity reduction on mountain freeways: A case study in China	Modelo <i>probit</i> ordenado de parâmetros aleatórios
	Li e Wang (2013)	Method of TER Location for High-grade Highway Based on Fuzzy Rough Set	Conjunto Aproximado Difuso ( <i>Fuzzy Rough Set</i> )
	Wang, Luo e Chen (2019)	Interpreting risk factors for truck crash severity on mountainous freeways in Jiangxi and Shaanxi, China	Modelo de probabilidades proporcionais parciais
Metodologias Multicritérios	Fancello, Carta e Fadda (2019)	Road intersections ranking for road safety improvement: Comparative analysis of multi-criteria decision making methods	Electre III, Análise de concordância, Vikor e Topsis
	Heidarian et al. (2022)	Location of Emergency Escape Ramps on Two-Lane Rural Highways Based on the Fuzzy Multicriteria Decision-Making Method	Processo Hierárquico Analítico Difuso ( <i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i> )
Metodologias de avaliação de segurança com dados escassos	Agarwal, Patil e Mehar (2013)	A Methodology for Ranking Road Safety Hazardous Locations Using Analytical Hierarchy Process	Método Hierárquico Analítico (AHP)
	Rusli et al. (2018)	Applying a random parameters Negative Binomial Lindley model to examine multi-vehicle crashes along rural mountainous highways in Malaysia	Parâmetros Aleatórios Binomiais Negativos ( <i>Random Parameters Negative Binomial - RPNB</i> )

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A seguir, serão apresentadas as pesquisas selecionadas no processo de revisão sistemática, agrupadas de acordo com a abordagem utilizada.

### 3.2.1 Identificação de pontos críticos

O estudo apresentado por Colak et al. (2018) utiliza técnicas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) para determinar os pontos críticos de sinistros

na Turquia. Os autores realizaram uma análise estatística dos dados de sinistros dos últimos 5 anos e atribuíram pesos aos trechos da rede rodoviária, de acordo com os dados obtidos. Para a identificação dos pontos críticos, foram utilizados os métodos Hot Spot Analysis: Getis-Ord  $G_i^*$  e o Kernel Density. O primeiro é usado para calcular os valores de cada sinistro, de acordo com características como a ocorrência de mortes, feridos, danos materiais, entre outros. Já o Kernel Density é uma técnica que transforma uma amostra de dados de pontos georreferenciados, em uma superfície contínua que indica a intensidade da observação individual sobre o espaço (BAILEY e GATRELL 1995 apud COLAK et al., 2018).

Em seu estudo, Colak et al. (2018) levou em consideração, para cada local investigado, o número de pessoas feridas ou mortas em decorrência de um sinistro, ou danos ao veículo, a fim de determinar a intensidade total deste local. Determinou-se que um sinistro fatal é equivalente a nove sinistros somente com danos materiais e um sinistro com feridos é equivalente a três sinistros somente com danos materiais. Como resultado, chegou-se a conclusão de que o método hotspot foi superior ao método Kernel Density, devido ao fato de utilizar pesos espaciais de rede viária para determinar os pontos críticos de sinistros de trânsito.

Gudes et al. (2017) realizou um estudo semelhante, com o objetivo de identificar pontos críticos de sinistros com veículos pesados, utilizando dados de 2001 a 2013 de estradas da Austrália. Para isso, os autores utilizaram SIG para modelagem espacial e métodos analíticos espaço-temporais, Emerging Hotspots, para identificar os pontos críticos. Como resultado, foram destacados os pontos críticos (hotspots) de sinistros com veículos pesados e constatou-se que a aplicação de metodologias espaciais com dados de segurança viária tem grande potencial para a redução de sinistros.

Já a pesquisa de Mbarek et al. (2021) utilizou o método do Índice Ponderado de Gravidade (weighted severity index) para identificar os pontos críticos de sinistros nas estradas do Marrocos. Esse método pondera o número de vítimas de sinistros com uma pontuação específica, a fim de atribuir diferentes pesos dependendo das características dos sinistros. Como conclusão da análise realizada, foram detectados 173 pontos críticos dentre os 1.584 trechos rodoviários do Marrocos.

O estudo de Park, Lord e Lee (2014) teve como objetivo a comparação entre um modelo de mistura finita e um modelo binomial negativo para a identificação de pontos críticos. Para essa análise, utilizou-se dados de sinistros de rodovias da

Califórnia e do Texas, resultando numa maior confiabilidade apresentada pelo modelo de mistura finita.

### **3.2.2 Uso de técnicas estatísticas**

Neste subitem serão citados os estudos, encontrados no processo de revisão sistemática, que utilizaram técnicas da Estatística para identificar fatores de risco de sinistros com veículos pesados em rodovias.

A pesquisa de Duvvuri, Pulugurtha e Mathew (2022) desenvolveu uma metodologia de identificação de fatores de risco associando dados de uso da terra, características demográficas, características dos sinistros, dos motoristas e da rede viária. Para isso, realizou-se uma análise estatística, um modelo de probabilidades proporcionais parciais, com dados de sinistros de Mecklenburg, na Carolina do Norte, dos anos de 2013 a 2017. Esse modelo visou identificar quais os fatores de risco que influenciam na gravidade das lesões em sinistros automobilísticos, entre os quais destacam-se:

- Condições de baixa iluminação;
- Condições climáticas adversas;
- Presença de trechos com curvas acentuadas;
- Fadiga do motorista;
- Falta de atenção do motorista.

Wang, Luo e Chen (2019) também utilizou um modelo de probabilidades proporcionais parciais para determinar os fatores de risco e sua relevância para a gravidade das lesões em sinistros com veículos pesados. Foram utilizados no modelo dados de 1.175 sinistros, dos anos de 2010 a 2015, em rodovias montanhosas de Jiangxi e Shaanxi, na China. Como resultados, os autores concluíram que as seções em curva ocasionam um aumento de 7,57% na probabilidade de sinistros fatais e que, a sobrecarga dos caminhões, falhas de freio, excesso de velocidade e distância de seguimento insegura, foram significativamente correlacionados com a gravidade do sinistro.

Alrejjal, Farid e Ksaibati (2021) e Dong et al. (2017) utilizaram modelos logit (modelo de escolha binária, que se baseia em uma distribuição cumulativa logística padrão) para determinar os fatores de risco de sinistros com veículos pesados. A

pesquisa apresentada por Alrejjal, Farid e Ksaibati (2021) utilizou um modelo logit de parâmetros aleatórios correlacionados, logit tradicional e modelo logit de parâmetros aleatórios não correlacionados, ou mistos, para as análises, sendo o primeiro método o considerado mais eficaz. Já Dong et al. (2017) utilizou um modelo logit multinomial para analisar a gravidade dos sinistros e um modelo binomial negativo para analisar sua frequência. Os principais fatores que contribuem significativamente para a gravidade e frequência de sinistros são a porcentagem de caminhões, o tráfego médio diário anual, as condições do motorista e as condições climáticas. Além disso, o uso do cinto de segurança tem efeitos significativos apenas na gravidade das colisões envolvendo caminhões e a idade do motorista apenas na frequência.

Diferente dos demais estudos, Li et al. (2021) utilizou dados de uma rodovia já equipada com áreas de escape em sua análise. Os autores compararam a gravidade das lesões em colisões com rampas de emergência com colisões em outras seções da estrada, utilizando um modelo *probit* ordenado de parâmetros aleatórios para medir o desempenho das rampas de escape. Na Figura 10 pode-se visualizar duas das cinco EERs (*Emergency Escape Ramps*) analisadas no estudo, localizadas em *Zhesang*, China.

Figura 10 - Rampas de escape localizadas em Zhesang, China



Fonte: Li et al. (2021)

Os resultados confirmam a eficácia das rampas de escape na redução da gravidade das lesões causadas por sinistros, contudo, sua função de proteção sofre redução durante a noite, em situações de capotamento dos veículos acidentados, em colisões entre vários veículos, ou quando há a falta de familiaridade dos motoristas com o local (LI et al., 2021).

O estudo de Li e Wang (2013) realizou uma análise dos dados de sinistros e elaborou um modelo Fuzzy Rough Set, conjunto aproximado difuso, para definir os fatores de influência na alocação de rampas de escape para caminhões, TER (Truck Escape Ramps). Este modelo calcula os valores do índice de segurança dos trechos rodoviários utilizados como amostra e seleciona as seções candidatas para a instalação de rampas. Segundo os autores, as posições indicadas para as rampas de escape determinadas pelo método possuem embasamento científico e são coerentes.

### **3.2.3 Metodologias multicritérios**

Os métodos multicritérios são técnicas de apoio à decisão, baseadas na combinação de um conjunto de critérios de avaliação, variáveis, que juntas são capazes de classificar hierarquicamente diferentes trechos rodoviários, de acordo com as suas condições de segurança (FANCELLO, CARTA e FADDA, 2019).

A metodologia apresentada por Fancello, Carta e Fadda (2019) baseou-se em uma abordagem multicritérios para classificar pontos críticos em uma rede viária da cidade de Villacidro, Itália. No estudo, os autores compararam três diferentes metodologias multicritérios (Topsis, Vikor e Análise de concordância) para hierarquizar as rodovias mais críticas. Os critérios foram classificados com notas de 1 a 4, sendo 1 a pior e 4 a melhor condição de segurança. A distância da visada de acesso, a condição da sinalização rodoviária, a iluminação do trecho, a manutenção da superfície do pavimento, o volume de veículos, o volume de veículos pesados e o fluxo de pedestres foram os critérios utilizados.

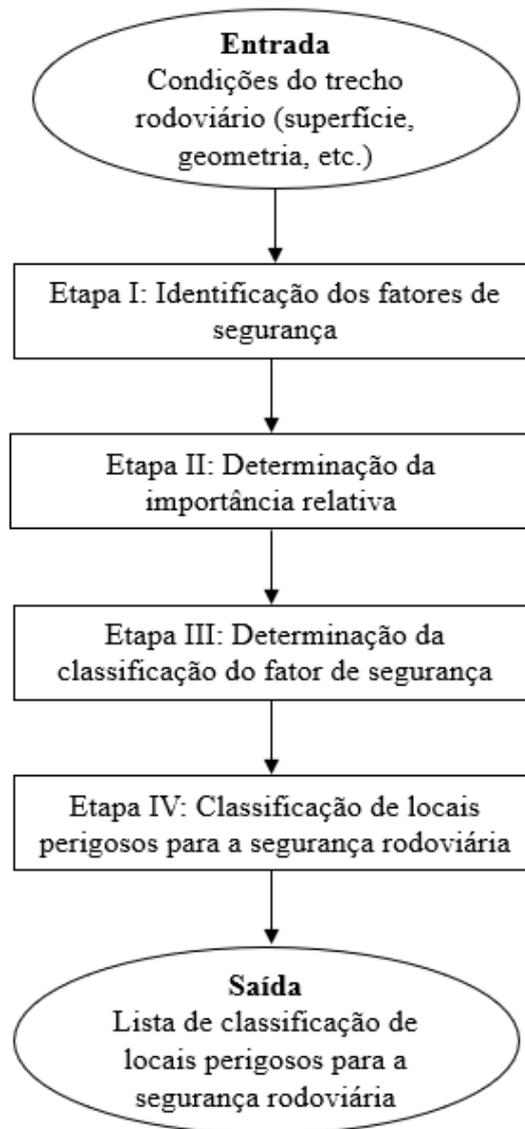
Já a metodologia apresentada por Heidarian et al. (2022) foi o Processo de Hierarquia Analítica Difuso (Fuzzy Analytic Hierarchy Process), por meio do qual foram classificados, de acordo com a sua importância, critérios gerais e subcritérios relacionados com as características dos sinistros envolvendo veículos pesados desgovernados. Os resultados mostraram que a porcentagem de inclinação longitudinal, o comprimento da inclinação longitudinal e a velocidade do veículo foram os fatores de maior influência na escolha da localização das rampas de emergência.

### **3.2.4 Metodologias de avaliação de segurança com dados escassos**

A identificação de pontos críticos e do uso de técnicas estatísticas para a identificação de fatores de risco nas rodovias são metodologias eficazes para a alocação de áreas de escape, porém, existem casos onde os dados não estão disponíveis para tais estudos. Logo, visando este problema, algumas pesquisas propõem métodos que não necessitem de muitos dados para a realização da avaliação da segurança.

Agarwal, Patil e Mehar (2013) utilizam um modelo AHP (Analytical Hierarchy Process), ou método hierárquico analítico para classificar os trechos rodoviários perigosos, atribuindo pesos a eles. A metodologia é implementada em quatro etapas, apresentadas na Figura 11, as quais resultam em uma lista com os valores do índice de Riscos à Segurança (Safety Hazardous Index) de cada um dos trechos analisados.

Figura 11 - Metodologia de avaliação de segurança



Fonte: Agarwal, Patil e Mehar (2013)

A pesquisa apresentada por Rusli et al. (2018), realizada na Malásia, também visou o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de segurança que não tivesse a necessidade de dados abundantes de sinistros rodoviários. Para superar a limitação de dados, foi realizada uma pesquisa de campo, com coleta de informações como geometria das estradas, características do tráfego e condições meteorológicas, e completados os dados utilizando diferentes modelagens. Essas modelagens foram:

- Random Parameters Negative Binomial (RPNB) - Parâmetros Aleatórios Binomiais Negativos;

- Random Parameters Negative Binomial - Lindley (RPNB-L) - Parâmetros Aleatórios Binomiais Negativos – Lindley;
- Random Parameters Negative Binomial - Generalized Exponential (RPNB-GE) - Parâmetros Aleatórios Binomiais Negativos – Exponencial Generalizado.

Como resultado, os autores concluíram que o modelo RPNB-L superou os demais na capacidade de previsão e ajuste do modelo. Além disso, verificou-se que fatores como chuvas fortes e presença de entroncamentos ao longo de rodovias montanhosas aumentam a probabilidade de colisões com múltiplos veículos (RUSLI et al., 2018).

## **4 METODOLOGIA PARA ALOCAÇÃO DE ÁREAS DE ESCAPE**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES**

A metodologia para alocação de áreas de escape proposta levou em consideração três dos quatro principais enfoques apontados nos estudos selecionados no processo de revisão sistemática: identificação de pontos críticos, uso de técnicas estatísticas para a identificação de fatores de risco e metodologia multicritérios. Tendo em vista a disponibilidade de dados de sinistros nas rodovias federais brasileiras, fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal (PRF, 2023), não foi necessário o uso de metodologias de avaliação de segurança com dados escassos.

Portanto, essa metodologia visa indicar os trechos rodoviários críticos de acordo com o índice de alocação de áreas de escape, calculado a partir da aplicação de critérios selecionados por meio de análises estatísticas, os quais possuem correlação com a ocorrência de sinistros envolvendo veículos pesados.

No Capítulo 5 será apresentado um estudo de caso, o qual tem como objetivo demonstrar a aplicabilidade da metodologia proposta.

### **4.2 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA**

A metodologia proposta é composta por seis etapas, as quais encontram-se descritas nos subitens que seguem e ilustradas na Figura 12.

Figura 12 - Etapas da metodologia de alocação de áreas de escape



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

#### 4.2.1 Definição do local de estudo

O passo inicial para a aplicação da metodologia é a determinação do local a ser analisado. Na prática, a escolha do local ficaria a cargo da entidade responsável pela realização das obras de implantação de áreas de escape, como o DNIT, por exemplo, que pode analisar rodovias de Unidades Federativas específicas, ou uma empresa concessionária, que pode optar por analisar apenas as rodovias sob sua responsabilidade.

#### 4.2.2 Coleta dos dados de sinistros

Os dados de sinistros nas rodovias brasileiras, disponibilizados nos dados abertos da PRF (2023), são apresentados de três formas diferentes: agrupados por ocorrência, por pessoa ou agrupados com todas as causas e tipos de sinistros. A terceira forma, mais completa, começou a ser registrada a partir do ano de 2017, quando a PRF adotou a prática de registrar as coordenadas geográficas dos locais onde ocorrem os sinistros. Logo, optou-se por coletar os dados de sinistros rodoviários datados de 2017 a 2023.

A planilha disponibilizada pela PRF possui dados agrupados com todas as causas e tipos de sinistros, contendo informações como data, dia da semana,

horário, Unidade Federativa, rodovia (BR), quilômetro, sentido da via, município, causa do sinistro, tipo de sinistro, classificação do sinistro, condição meteorológica, tipo de pista, tipo de veículo, vítimas, latitude, longitude, entre outras informações.

Visto que o objetivo desta pesquisa é a indicação de locais para equipamentos designados para veículos pesados em situação de emergência, foram considerados apenas os sinistros com caminhões, caminhões-trator, semirreboques, ônibus, tratores de rodas, tratores de esteira, trens-bonde e tratores mistos.

### **4.2.3 Coleta de dados característicos dos trechos**

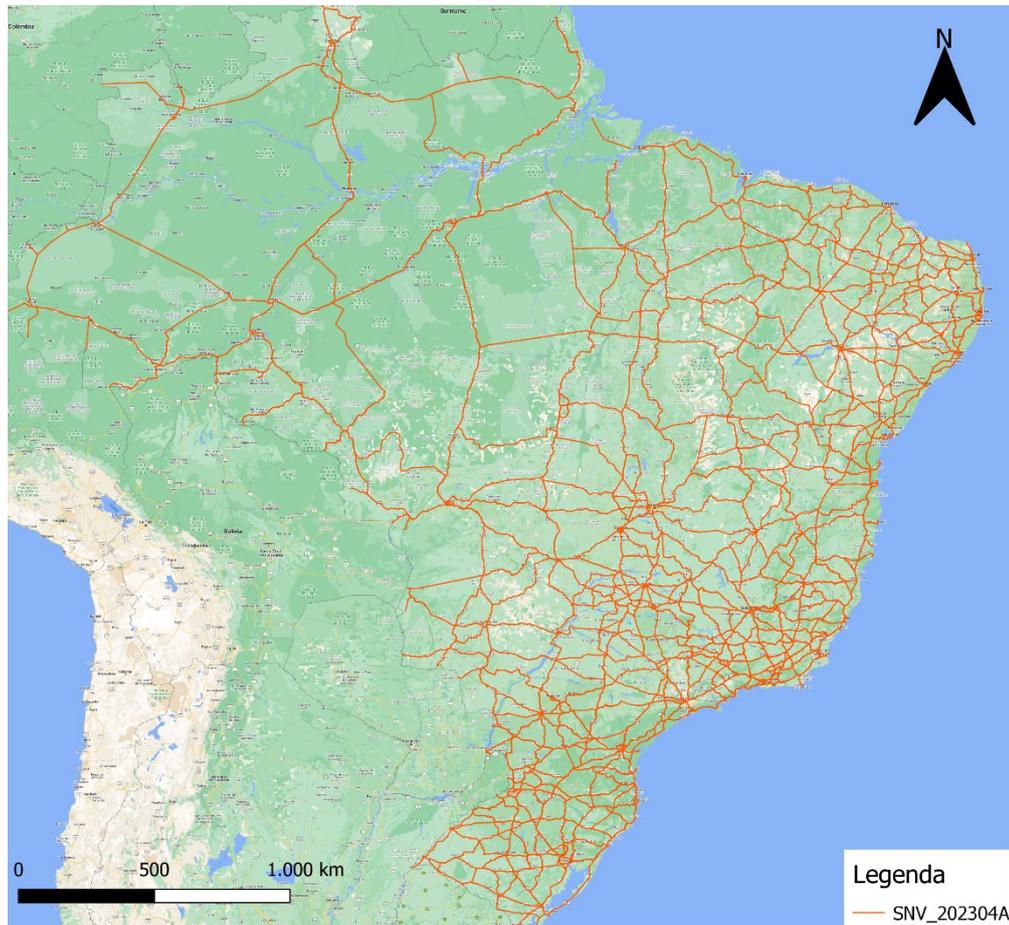
Com o intuito de identificar os critérios que influenciam na ocorrência de sinistros com veículos pesados nas rodovias, foram coletados dados que caracterizam o tráfego e o relevo presentes em cada trecho rodoviário. Para isso, foram utilizadas as fontes de dados citadas nos itens que seguem.

#### **4.2.3.1 Sistema Nacional de Viação (SNV)**

Os dados georreferenciados dos trechos rodoviários foram coletados no acervo do DNIT, órgão do Sistema Nacional de Viação (SNV) responsável pela manutenção das informações, gestão, cadastro e divulgação dos dados espaciais das rodovias. O SNV, instituído pela Lei nº 12.379, de 6 de janeiro de 2011, é constituído pela infraestrutura física e operacional dos vários modos de transporte, sob jurisdição dos diferentes entes da Federação (BRASIL, 2011).

Para a visualização espacial dos trechos SNV, foi coletado o arquivo, em formato *shapefile*, da versão 2023.04 (DNIT, 2023a), como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Camada georreferenciada das rodovias do SNV - versão 2023.04



Fonte: DNIT (2023)

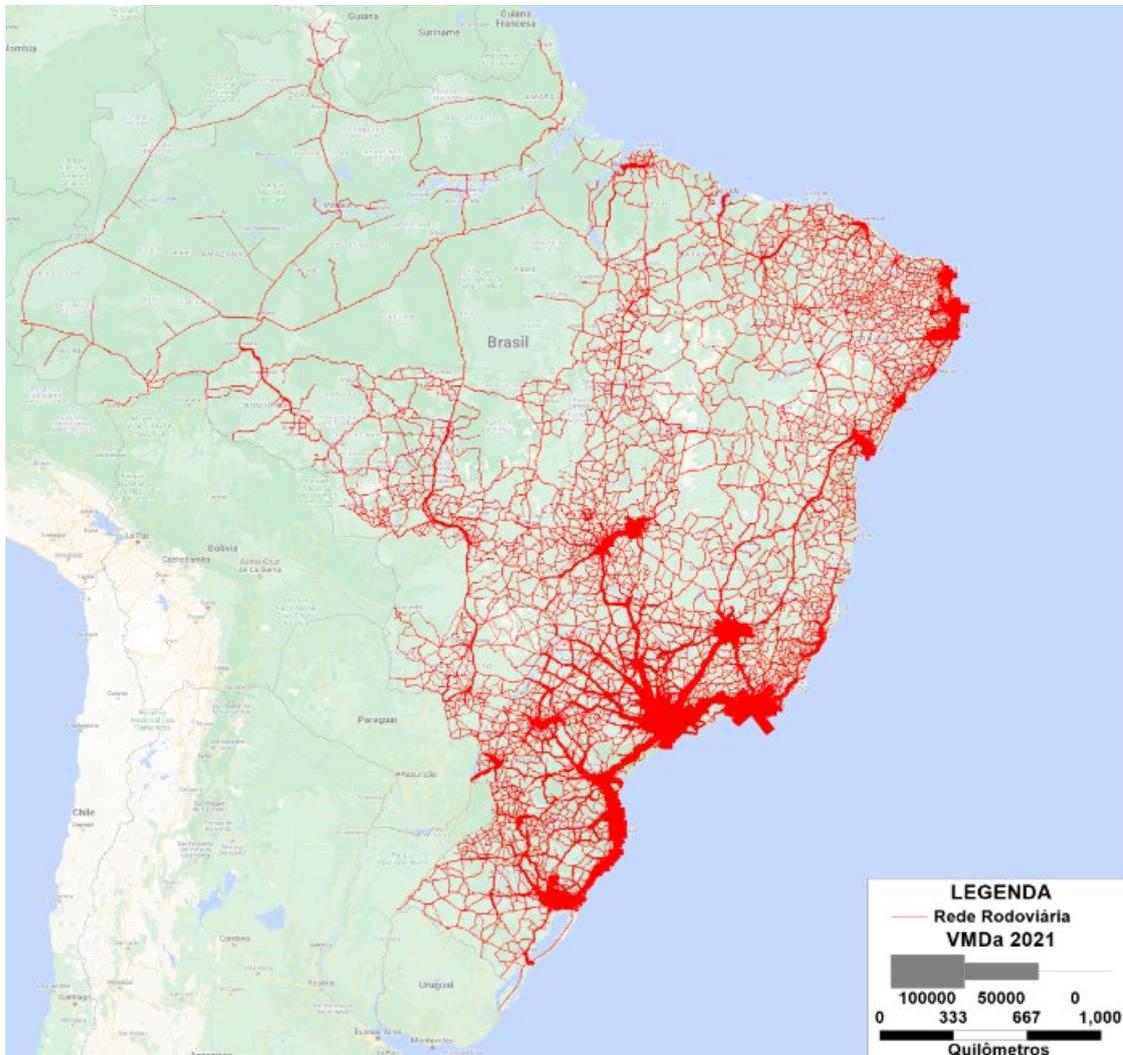
A camada georreferenciada apresentada possui 7.520 trechos, contendo dados como: rodovia, Unidade Federativa, quilômetro inicial, quilômetro final, extensão, tipo de pista, tipo de pavimento, entre outras informações.

#### 4.2.3.2 *Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT)*

O PNCT foi implementado pelo DNIT, em parceria com universidades brasileiras, com o intuito de identificar o comportamento do tráfego nas rodovias federais. Como resultado dos estudos realizados por essas instituições, foram identificados locais para implantação de equipamentos de contagem veicular, por meio dos quais são adquiridos dados de Volume Médio Diário Anual (VMDa) de cada tipo de veículo, para cada trecho indicado pelo SNV. A Figura 14 ilustra os

fluxos totais de veículos, expressos pelo VMDa, nas rodovias federais e estaduais resultantes da modelagem do PNCT (DNIT, 2022).

Figura 14 - VMDa resultante da modelagem do PNCT



Fonte: DNIT (2022)

#### 4.2.3.3 *Restituitor as built*

Os dados a respeito das características geométricas dos trechos rodoviários foram adquiridos por meio do *software Restituitor as built*, do Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Esse programa analisa os dados geográficos do traçado das vias e os segmenta, de acordo com as tangentes, curvas e altitudes dos trechos,

determinando assim os raios e ângulos internos de curvas horizontais e gradientes na vertical (LABTRANS, 2023).

Logo, foi inserido no *software* o arquivo georreferenciado do SNV, versão 2023.04 (DNIT, 2023a), e então foram obtidas informações a respeito de cada trecho do SNV, como: altura inicial, altura final, inclinação, raio de curvatura e ângulos internos das curvas. Para a determinação da sinuosidade dos trechos, foi realizada a soma dos ângulos internos das curvaturas e dividido pela extensão do trecho, conforme a Equação 1:

$$S = \frac{\sum a}{E} \quad (1)$$

Onde:

$S$  = Sinuosidade do trecho, em graus/km;

$\sum a$  = Somatório dos ângulos internos das curvas, em graus;

$E$  = Extensão do trecho, em km.

Já para a determinação da inclinação dos trechos, levando em consideração que as geometrias de interesse para a alocação de áreas de escape são trechos em declive, devido à sobrecarga dos sistemas de frenagem, foram selecionados os segmentos de maior declive para cada trecho rodoviário, considerando o sentido crescente das rodovias.

#### 4.2.3.4 *Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas (RNTRC)*

Os dados a respeito da idade da frota foram estimados a partir das informações sobre a frota vigente cadastrada no RNTRC (ANTT, 2022). O site fornece dados sobre o setor de transporte rodoviário brasileiro de cargas, contabilizando a quantidade de transportadores e a frota vigente, por categoria. As categorias adotadas são: Transportador Autônomo de Cargas (TAC), Empresa de Transporte Rodoviário de Cargas (ETC) e Cooperativa de Transporte Rodoviário de Cargas (CTC). Para cada uma dessas categorias, o RNTRC fornece a idade média para a frota de veículos automotores de carga, dividindo-os em: caminhões leves, caminhões-trator, reboques, semirreboques, entre outros.

No entanto, para a aplicação da metodologia proposta são necessários dados de idade da frota relativos a cada trecho rodoviário codificado no SNV. Então, com base nos dados do RNTRC, calculou-se a média de idade para cada tipo de veículo, independente do tipo de transportador, como mostra a Tabela 5. Posteriormente, multiplicou-se a idade média pelo VMDa de cada categoria veicular do PNCT, a fim de determinar a idade da frota individual de cada trecho.

Tabela 5 - Idade média da frota para cada tipo de veículo do RNTRC

	CTC		ETC		TAC		TOTAL	
	Frota	Idade média	Frota	Idade média	Frota	Idade média	Frota	Idade média
Caminhão leve	1509	12,08	103764	12,12	139468	23,9	244741	18,83
Caminhão simples	3767	17,2	292067	13,55	340800	27,86	636634	21,23
Caminhão trator	12435	15,61	482045	9,07	189755	21,37	684235	12,60
Caminhão trator especial	16	15,38	599	13,34	266	21,76	881	15,92
Reboque	917	9,59	71117	7,86	13054	19,12	85088	9,61
Semirreboque	16459	13,88	718496	10,18	183785	18,24	918740	11,86
Bitrem	46	8,39	310	15,56	171	16,76	527	15,32

Fonte: Adaptado de ANTT (2022)

Em síntese, o Quadro 3 apresenta as fontes dos dados coletados, os quais serão apurados na etapa seguinte, a análise estatística.

Quadro 3 - Fonte dos dados coletados

Dados	Fonte	
Código SNV	Modelagem SNV	DNIT (2023)
Extensão do trecho	Modelagem SNV	DNIT (2023)
VMDa de veículos pesados	PNCT	DNIT (2021)
Idade da frota	RNTRC	ANTT (2022)
Sinuosidade	Restituídor <i>as built</i>	LABTRANS (2023)
Declividade	Restituídor <i>as built</i>	LABTRANS (2023)

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

#### 4.2.4 Análise estatística dos dados

Posterior à escolha do local de estudo e à coleta de dados, foram realizadas análises estatísticas. A primeira análise foi descritiva, com o cálculo da média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação, a fim de obter uma melhor compreensão a respeito da distribuição das variáveis.

Posteriormente foram realizados testes de correlação entre os dados característicos dos trechos e a média anual de sinistros. O coeficiente de correlação com a ocorrência de sinistros envolvendo veículos pesados foi a abordagem adotada para a escolha das variáveis que compõem o modelo multicritérios.

#### 4.2.5 Cálculo do índice de Alocação de Área de Escape

Segundo Fancello, Carta e Fadda (2019), um método multicritérios é a combinação de um conjunto de variáveis, que juntas geram um índice capaz de hierarquizar diferentes trechos rodoviários. Então, como resultado da aplicação do método proposto, foi criado o Índice de Alocação de Áreas de Escapes (IAAE), calculado pela seguinte equação:

$$IAAE = \frac{\sum(\frac{v}{\mu_v} \cdot \rho_v)}{\sum \rho_v} \quad (2)$$

Onde:

$IAAE$  = índice de alocação de áreas de escape;

$v$  = variável;

$\mu_v$  = média da variável;

$\rho_v$  = coeficiente de correção entre o número de sinistros e a variável.

Optou-se por dividir as variáveis pelo valor de sua média, a fim de uniformizá-las, pois, variáveis com valores muito elevados teriam um peso muito superior às demais no índice. Já o coeficiente de correlação representa o peso arbitrado para cada variável, como em um cálculo de média ponderada.

#### **4.2.6 Hierarquização dos trechos e identificação de pontos críticos**

Após o cálculo do IAAE para os trechos localizados na área de estudo determinada, é possível ordená-los em ordem decrescente do índice, salientando os trechos com maior necessidade de instalação de áreas de escape.

Para a visualização dos pontos críticos, foi utilizado o *software* QGIS, uma ferramenta SIG (Sistema de Informação Geográfica) livre e aberta, disponível para a localização georreferenciada das rodovias em análise.

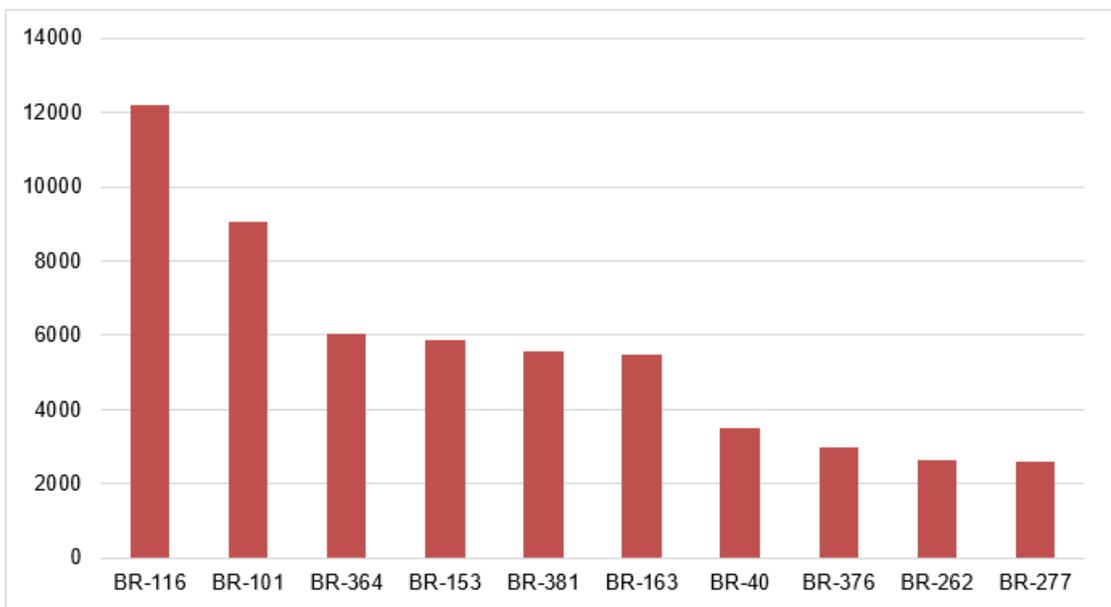
## 5 ESTUDO PARA DEMONSTRAÇÃO DA APLICABILIDADE DA METODOLOGIA PROPOSTA

Com o intuito de demonstrar a aplicabilidade da metodologia proposta, foi realizado um estudo de caso em uma das principais rodovias brasileiras, demonstrado nos itens que seguem.

### 5.1 DEFINIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A fim de determinar a rodovia que seria objeto de estudo, foram analisados os dados de sinistros coletados pela PRF, de 2017 a 2023, de todo o Brasil. A Figura 15 apresenta a média anual de sinistros para as 10 rodovias mais perigosas do país.

Figura 15 - Média anual de sinistros com veículos pesados em rodovias brasileiras



Fonte: Adaptado de PRF (2023)

Visto que a BR-116, apresentada na Figura 16, foi a rodovia com o maior quantitativo de sinistros, essa foi a escolhida para o estudo de caso apresentado.

Figura 16 - Rodovia BR-116



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

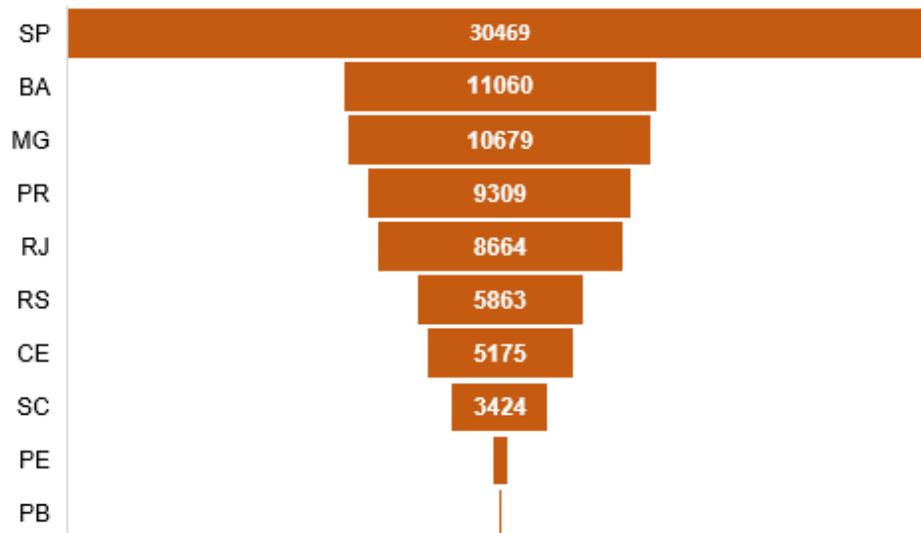
A BR-116 tem sua nomenclatura iniciada pelo algarismo 1 devido ao fato de possuir sentido longitudinal, norte-sul. A rodovia inicia-se no município de Fortaleza, no Ceará, e termina em Jaguarão, no Rio Grande do Sul. Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina também são estados nos quais tal rodovia está contida.

A rodovia selecionada no estudo de caso é responsável por ligar importantes capitais brasileiras, como Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro e Fortaleza, sendo duplicada nas áreas metropolitanas, além de ter sido totalmente duplicada entre Curitiba e o Rio de Janeiro, após a conclusão do trecho denominado Serra do Cafezal no estado de São Paulo na Rodovia Régis Bittencourt.

## 5.2 COLETA DOS DADOS DE SINISTROS

Foram coletados os dados de sinistros ocorridos nos anos de 2017 até 2023 na rodovia BR-116. Durante esse período, foram registrados 85.306 sinistros envolvendo veículos pesados, sendo 41.893 no sentido crescente e 43.413 no sentido decrescente. A Figura 17 apresenta a quantidade de sinistros ocorridos na BR-116, nos anos de 2017 a 2023, nas diferentes Unidades Federativas em que está localizada.

Figura 17 - Sinistros envolvendo veículos pesados na BR-116, de 2017 a 2023, separados por UF



Fonte: Adaptado de PRF (2023)

Observando a Figura 17, percebe-se que o estado de São Paulo é onde mais ocorrem sinistros nessa rodovia, seguido pela Bahia. Já os estados de Pernambuco e Paraíba são os que apresentam os menores quantitativos, tendo 586 e 77 ocorrências, respectivamente.

Outro fato salientado pela análise do conjunto de dados é que as principais causas de sinistros identificadas são a falta de atenção à condução do veículo, a velocidade incompatível com o limite da via, o adormecimento do condutor, a reação tardia ou ineficiente e o desrespeito à distância de segurança de outros veículos. Além das causas de sinistros, são apresentados também diferentes tipos de sinistros, como mostra a Tabela 6.

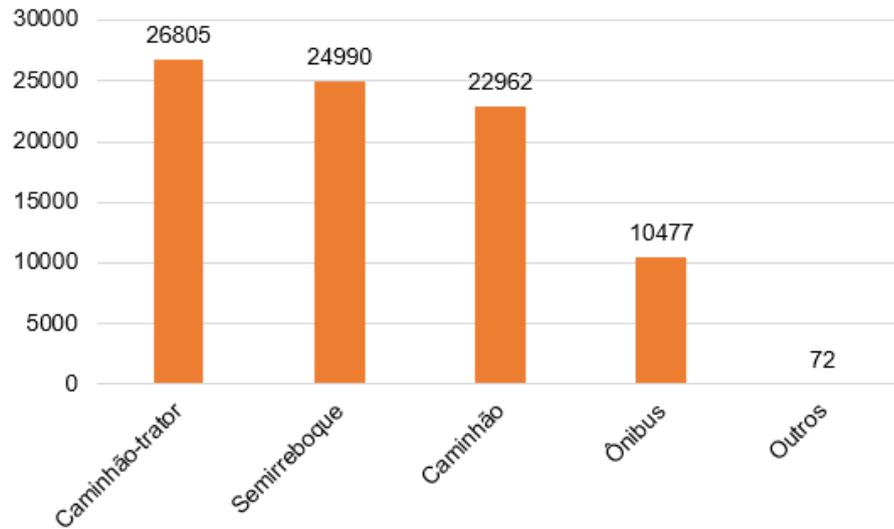
Tabela 6 - Tipos de sinistros ocorridos na BR-116

Tipo de sinistro	Quantidade
Colisão traseira	17523
Tombamento	12764
Saída de leito carroçável	9820
Colisão lateral	6380
Colisão com objeto estático	5176
Colisão frontal	5086
Colisão transversal	3798
Colisão com objeto	3649
Engavetamento	3219
Derramamento de carga	3139
Atropelamento de Pedestre	3031
Colisão lateral mesmo sentido	2804
Queda de ocupante de veículo	2507
Capotamento	2348
Incêndio	1912
Colisão lateral sentido oposto	1086
Colisão com objeto em movimento	365
Danos eventuais	274
Atropelamento de Animal	217
Eventos atípicos	208
<b>TOTAL</b>	<b>85.306</b>

Fonte: Adaptado de PRF (2023)

Percebe-se que a colisão traseira é o tipo de sinistro envolvendo veículos pesados que ocorre com maior frequência na BR-116, representando em torno de 20% do quantitativo total. Já a Figura 18 apresenta o número de sinistros de acordo com o tipo de veículo. Os veículos inseridos na categoria “Outros” são: trator de rodas, trator de esteira, trator misto e trem-bonde.

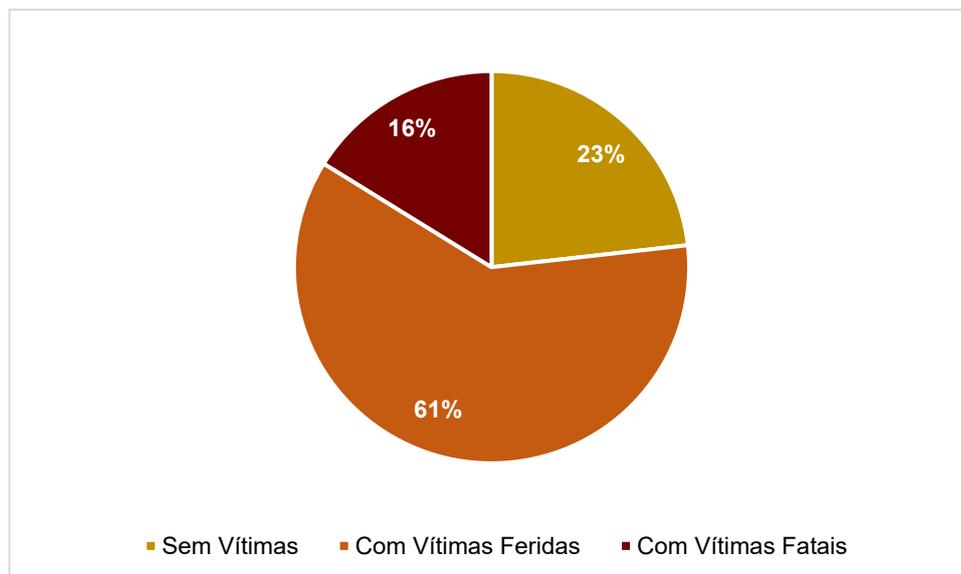
Figura 18 - Quantidade de sinistros de acordo com o tipo de veículo



Fonte: Adaptado de PRF (2023)

Observando a Figura 18, percebe-se que a quantidade de sinistros envolvendo ônibus representa apenas 12% do total, sendo que todos os demais envolvem veículos de carga. Na Figura 19 é apresentada a proporção de sinistros sem vítimas, com vítimas feridas e com vítimas fatais, na BR-116.

Figura 19 - Percentual de sinistros de acordo com o estado das vítimas



Fonte: Adaptado de PRF (2023)

Apesar dos sinistros com vítimas fatais apresentarem o menor percentual, ainda assim representam um número elevado de perdas, com quase 2 mil mortes ao ano, em média.

### 5.3 COLETA DE DADOS CARACTERÍSTICOS DOS TRECHOS

A coleta de dados característicos dos trechos foi iniciada pela camada georreferenciada do SNV, versão 2023.04 (DNIT, 2023a). Após a coleta, a camada foi tratada, filtrando apenas a rodovia BR-116 e removendo os trechos coincidentes, resultando em 297 trechos, apresentados no Apêndice A.

Após a determinação de quais trechos do SNV seriam analisados, foram coletados os dados de tráfego, apresentados pelo PNCT (DNIT, 2022). Devido à necessidade de coletar dados sobre a inclinação do trecho, teve-se que optar por um dos sentidos da rodovia para a análise, então, foi determinado o sentido crescente para a coleta de dados, tanto de volumes, quanto de sinistros.

Além dos trechos coincidentes, foram excluídos também os trechos com ausência de dados, para que não interferissem nas análises estatísticas e os trechos com extensão inferior a 1 km, considerando o espaço necessário para a implantação de uma área de escape. Outro aspecto também relevante para a questão da implantação foi a localização de alguns trechos em áreas urbanas, as quais dificultariam, ou até inviabilizariam a alocação desses equipamentos. Pensando nisso, foi coletada a camada geográfica das áreas edificadas brasileiras, levantada pelo IBGE e disponibilizada no visualizador de dados georreferenciados do DNIT, VGeo (DNIT, 2023b). Inserida a camada no *software* QGIS, sobreposta pela rodovia BR-116, foi possível identificar os trechos rodoviários inseridos em áreas urbanas, como é o caso do 116BPR2793, localizado no Município de Fazenda Rio Grande, no estado do Paraná, apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Trecho 116BPR2793, localizado em áreas urbanas



Fonte: Adaptado de DNIT (2023b)

O Quadro 4 apresenta todos os trechos que possuem mais de 50% de sua extensão localizados dentro de áreas urbanas, e que, por esta razão, foram excluídos da análise.

Quadro 4 – Trechos da BR-116 localizados em áreas urbanas

Código do trecho	UF
116BBA0560	BA
116BBA0700	BA
116BBA0870	BA
116BBA0890	BA
116BBA0957	BA
116BBA0960	BA
116BBA0965	BA
116BCE0015	CE
116BCE0017	CE
116BCE0020	CE
116BCE0050	CE
116BCE0060	CE

Código do trecho	UF
116BCE0410	CE
116BMG1120	MG
116BMG1185	MG
116BMG1190	MG
116BPR2793	PR
116BRJ1690	RJ
116BRJ1710	RJ
116BRJ1750	RJ
116BRJ1760	RJ
116BRJ1770	RJ
116BRJ1790	RJ
116BRJ1800	RJ
116BRJ1810	RJ
116BRJ1830	RJ
116BRJ1850	RJ
116BRJ1853	RJ
116BRJ1870	RJ
116BRS3020	RS
116BRS3090	RS
116BRS3100	RS
116BRS3170	RS
116BRS3190	RS
116BRS3210	RS
116BRS3230	RS
116BRS3250	RS
116BRS3255	RS
116BRS3360	RS
116BSC2830	SC
116BSP2243	SP
116BSP2330	SP
116BSP2340	SP
116BSP2370	SP
116BSP2390	SP
116BSP2430	SP
116BSP2450	SP
116BSP2490	SP
116BSP2510	SP
116BSP2520	SP
116BSP2530	SP
116BSP2560	SP
116BSP2565	SP

Fonte: Adaptado de DNIT (2023b)

No Apêndice B estão listados todos os trechos da BR-116 desconsiderados das análises, juntamente com o motivo da exclusão. Já no Apêndice C estão

apresentados todos os 218 trechos e os dados considerados nas análises estatísticas.

#### 5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva dos dados característicos dos trechos. Na Tabela 7 estão apresentadas estatísticas descritivas, média aritmética simples, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação. A média e a mediana são exemplos de medidas de tendência central, utilizadas para resumir, em um único número, o conjunto de dados observados da variável em estudo. A média trata-se da soma dos dados de um conjunto, dividida pelo número de elementos desse conjunto. Já a mediana é o valor que divide o conjunto ordenado de valores em duas partes com igual número de elementos.

Já o desvio padrão e o coeficiente de variação são medidas de dispersão, que servem para indicar o quanto os dados se apresentam dispersos, ou afastados, em relação ao seu valor médio, como no desvio padrão, ou expressando a variabilidade dos dados de uma variável de modo independente da sua unidade de medida utilizada, como no coeficiente de variação.

Tabela 7 - Medidas descritivas dos dados

Variável	Min.	Mediana	Média	Máx.	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
Média anual de sinistros	0,14	12,86	21,85	236,00	22,79	137%
Extensão do trecho (km)	1,00	16,20	18,26	82,30	13,93	76%
VMDa de veículos pesados (veh/dia)	263,00	1186,50	2193,70	7942,00	2005,55	91%
Idade média da frota (anos)	15,60	17,36	17,14	19,20	0,88	5%
Sinuosidade (°/km)	0,00	18,94	28,10	233,70	24,10	122%
Declividade máxima (%)	-6,55	-3,90	-3,80	0,00	1,08	-

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

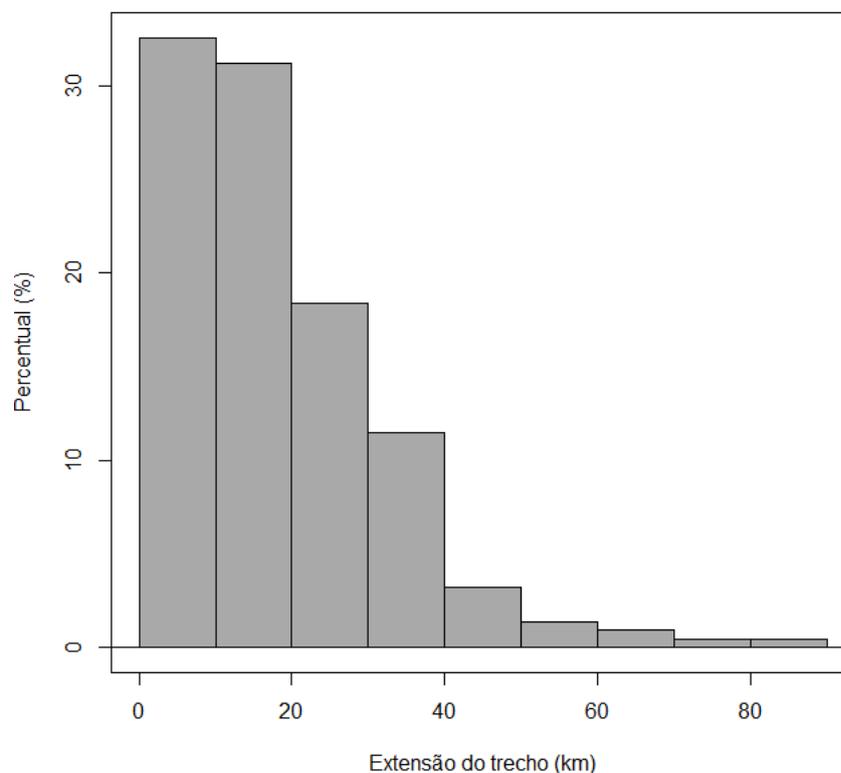
Analisando o coeficiente de variação, percebe-se que a única variável homogênea é a idade da frota, com variação de 5%, o restante dos dados apresenta grande heterogeneidade. O elevado desvio padrão dos dados de VMDa também indica a grande heterogeneidade, apresentado um intervalo de 2005 veículos/dia a mais ou a menos que a média dos dados. Nos itens que seguem, serão

apresentados gráficos que ilustram de forma mais clara o comportamento apresentado pelos dados.

#### 5.4.1 Extensão do trecho

A Figura 21 apresenta a distribuição dos dados de extensão do trecho, em quilômetros.

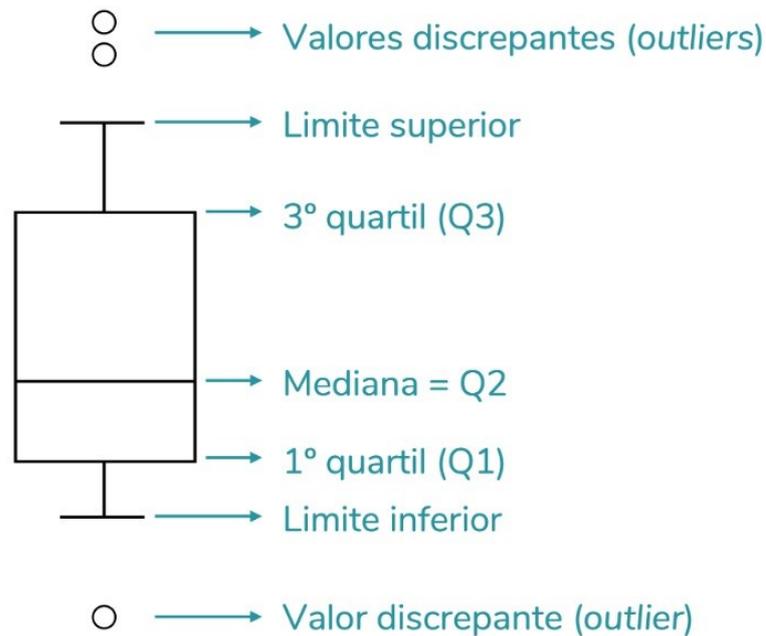
Figura 21 – Distribuição dos dados de extensão do trecho



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Percebe-se que a maior parte dos trechos possui extensão inferior a 20 km, porém, existem também alguns trechos discrepantes, com mais de 80 km.

Além da distribuição dos dados em histograma, foram elaborados gráficos *Boxplots* para cada uma das variáveis selecionadas no estudo. Esse tipo de gráfico representa a alteração dos dados das variáveis por meio de quartis, como mostra a Figura 22.

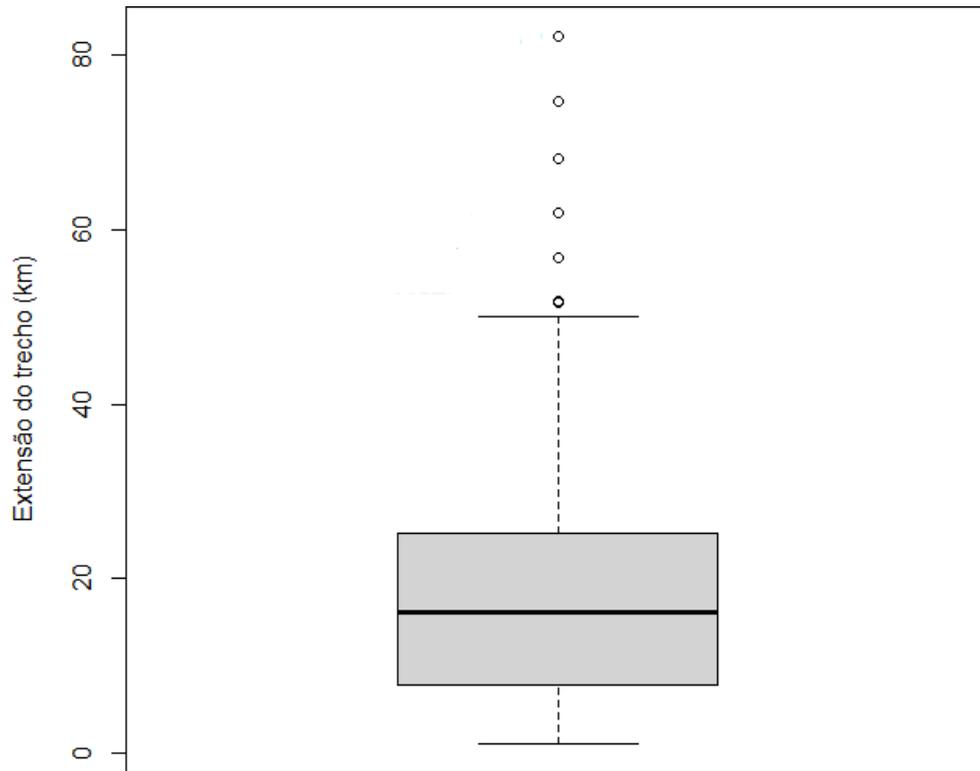
Figura 22 - Elementos de um *Boxplot*

Fonte: Peres, 2022

Os Quartis são valores que dividem o conjunto de dados em quatro partes, quando este está organizado de forma crescente. O primeiro Quartil divide o conjunto em 25%, o segundo em 50%, coincidindo com a mediana e o terceiro em 75%. Já os limites superior e inferior correspondem, respectivamente, ao maior e menor valor do conjunto de dados, que não sejam discrepantes. Nota-se que, quanto maior a altura do retângulo (caixa), maior a amplitude entre os quartis, ou seja, mais heterogêneos são os dados (PERES, 2022).

A Figura 23 mostra o *Boxplot* relacionado aos dados de extensão dos trechos.

Figura 23 - Boxplot dos dados de extensão do trecho

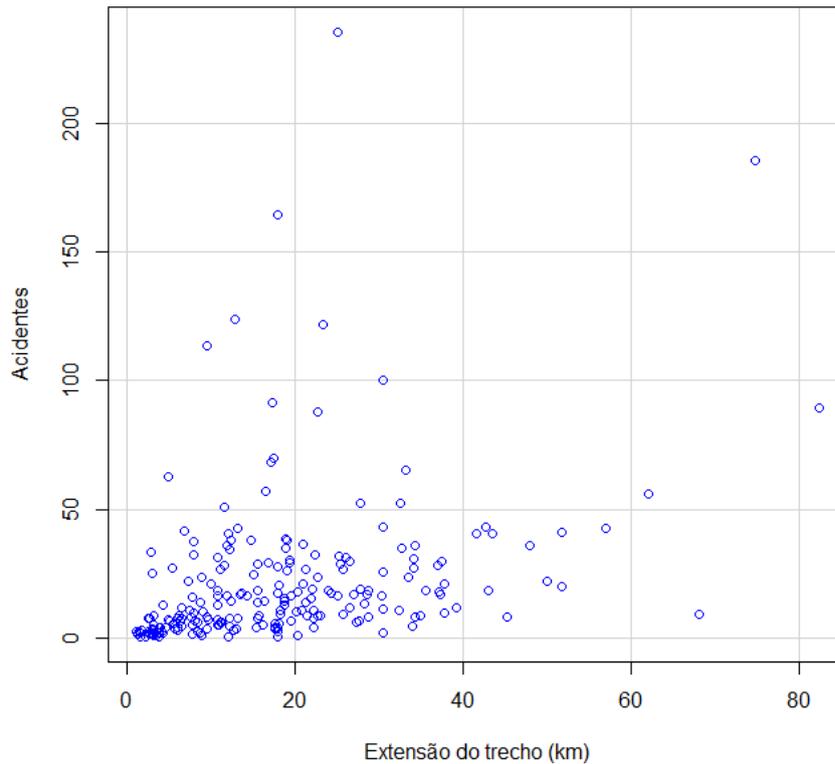


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

De acordo com o gráfico, o valor médio dos dados, ou mediana, é próxima de 20 km, apresentando uma diferença entre quartis pequena, inferior a 10 km. Entretanto, esses dados apresentaram alguns outliers, são eles os trechos: 116BBA0510, 116BBA0970, 116BCE0260, 116BMG1050, 116BMG1350, 116BSC2891 e 116BSP2685, todos com extensão superior a 50 km.

Com o intuito de descobrir se a variável possui relação com a ocorrência de sinistros, foi feito o gráfico de dispersão, apresentado na Figura 24. Para as análises, considerou-se a média anual de sinistros como variável dependente de efeito, eixo y e os demais dados testados as variáveis independentes das causas, eixo x.

Figura 24 - Gráfico de dispersão Sinistros x Extensão do trecho



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Observando-se o gráfico, não é perceptível uma correlação linear entre as variáveis. Porém, mesmo que o gráfico de dispersão não indique, pode haver correlação não-linear entre as variáveis. Logo, para verificar a existência de correlação não-linear foi calculado o coeficiente de correlação de *Spearman*. O coeficiente de correlação de *Spearman*, denominado pela letra grega rho ( $\rho$ ), é uma medida de correlação não paramétrica, avaliada no intervalo entre -1 e 1 (BATISTA, 2021). O

Quadro 5 indica as interpretações dos resultados para o coeficiente de correlação.

Quadro 5 - Interpretação do coeficiente de correlação

Valor do coeficiente $\rho$	Interpretação
-1	Correlação negativamente perfeita
-1 a -0.90	Correlação negativa muito forte
-0.89 a -0.70	Correlação negativa forte
-0.69 a -0.40	Correlação negativa moderada
-0.39 a -0.20	Correlação negativa fraca
-0.19 a 0.00	Correlação negativa muito fraca

Valor do coeficiente p	Interpretação
0	Correção nula ou inexistente
0 a 0.19	Correlação positiva muito fraca
0.20 a 0.39	Correlação positiva fraca
0.40 a 0.69	Correlação positiva moderada
0.70 a 0.89	Correlação positiva forte
0.90 a 1	Correlação positiva muito forte
1	Correlação positivamente perfeita

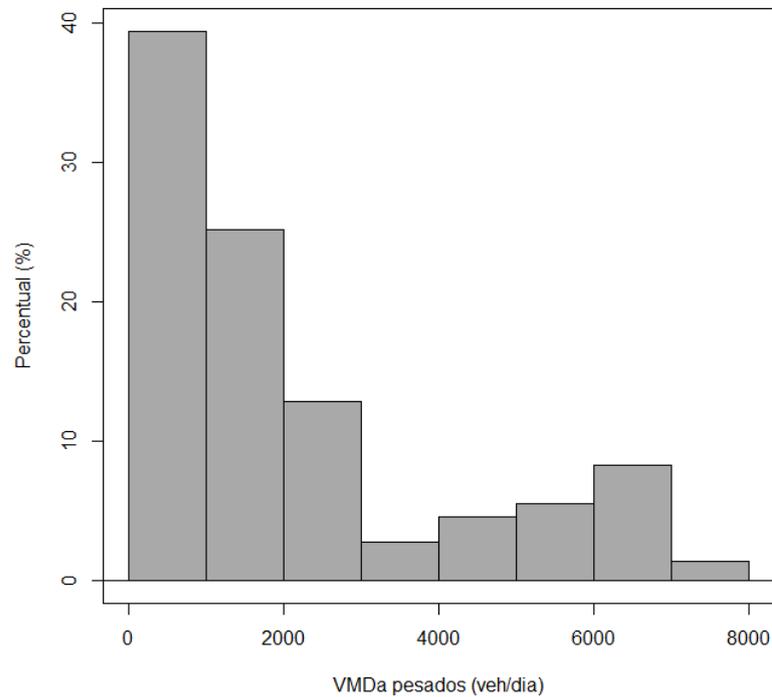
Fonte: Batista, 2021

Outro dado importante a ser observado é o p-valor, o qual deve ser inferior a 0,05 para que o coeficiente de correlação seja considerado estatisticamente relevante. Realizado o cálculo de correlação de *Spearman* entre as variáveis de média anual de sinistros e extensão dos trechos foi obtido um coeficiente de correlação  $\rho = 0,52$ , com um p-valor  $< 2,2 \times 10^{-16}$ . Logo, conclui-se que existe correlação positiva moderada entre as variáveis, ou seja, quando maior a extensão do trecho, maior a ocorrência de sinistros.

#### 5.4.2 VMDa de veículos pesados

A Figura 25 apresenta a distribuição dos dados de VMDa de veículos pesados nos trechos da BR-116.

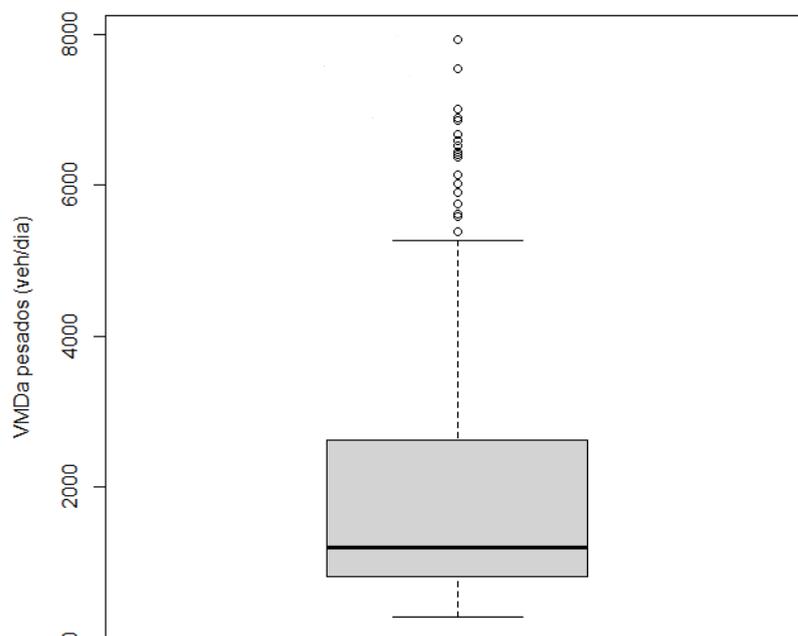
Figura 25- Distribuição dos dados de VMDa de veículos pesados



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Observando o histograma, percebe-se que a maior parte dos trechos possui um volume médio diário anual de veículos pesados inferior a 2.000 veículos por dia, porém, os dados mostram-se heterogêneos, com um coeficiente de variação de 91%. A Figura 26 apresenta outro gráfico da distribuição dos dados de VMDa.

Figura 26 - Boxplot dos dados de VMDa de veículos pesados

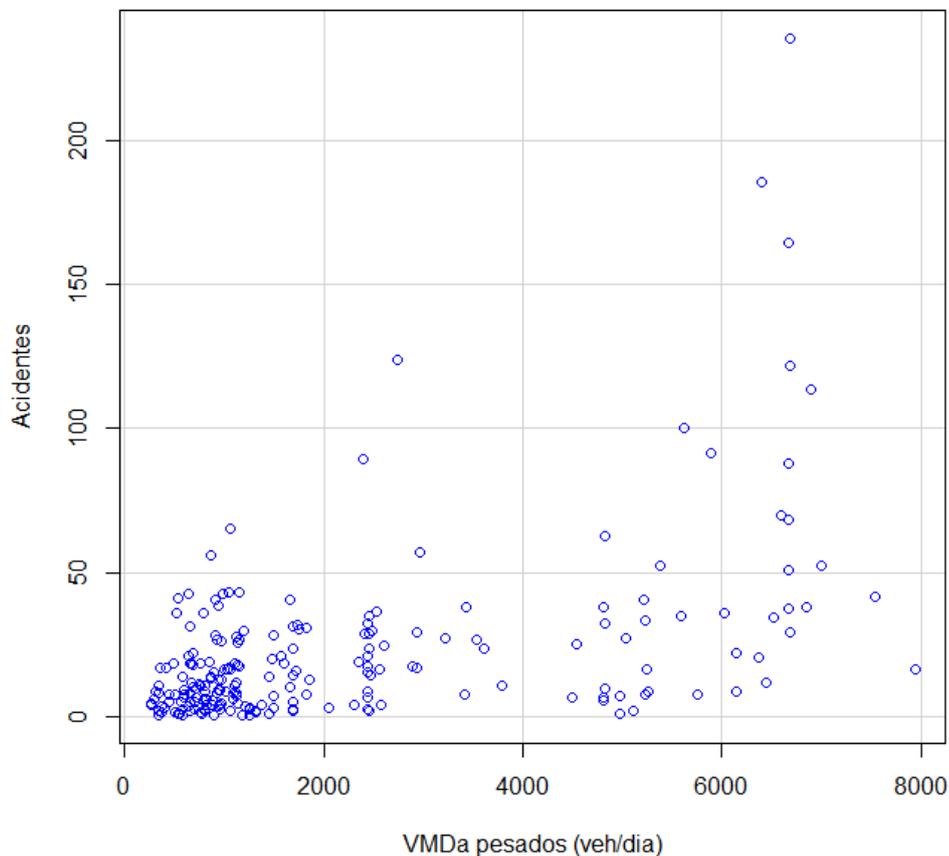


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Os trechos 116BSP2410, 116BPR2755, 116BSP2630, 116BPR2760, 116BRJ2130, 116BSP2582, 116BSP2587, 116BSP2575, 116BPR2725 e 116BPR2730 foram destacados como *outliers*, ou seja, valores considerados discrepantes dos demais. O que é esperado, considerando que esses possuem valores de VMDa superiores a 5.000 veículos/dia, mais que o dobro da média calculada para essa variável, 2193,70.

A Figura 27 apresenta o gráfico de dispersão entre a média anual de sinistros e o VMDa de veículos pesados.

Figura 27 - Gráfico de dispersão Sinistros x VMDa de veículos pesados



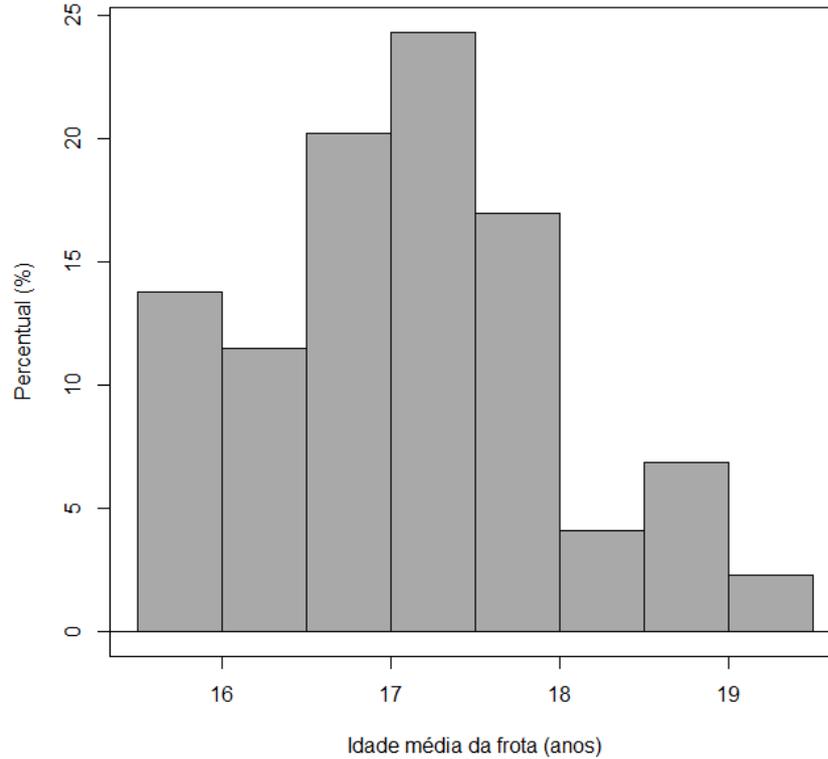
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Assim como a extensão do trecho, o VMDa não apresentou correlação linear com os sinistros, então, foi calculada a correlação de Spearman, a qual resultou em  $\rho = 0,44$ , com um  $p\text{-valor} = 7,5 \times 10^{-12}$ , o que indica uma correlação positiva moderada, com valor estatisticamente significativo. Logo, quando maior o volume de veículos pesados, maior a ocorrência de sinistros com esses veículos.

### 5.4.3 Idade média da frota

A Figura 28 mostra a distribuição dos dados de idade média da frota.

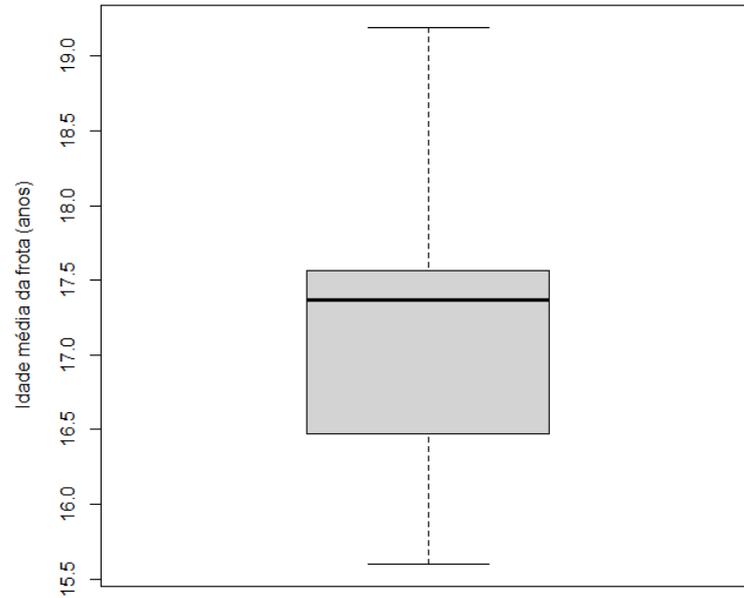
Figura 28 - Distribuição dos dados de idade média da frota



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Observando o gráfico, percebe-se que quase 25% dos veículos circulantes nos trechos da BR-116 apresentam entre 17 e 18 anos. Os dados de idade da frota são os mais homogêneos dos trechos, o que se confirma na Figura 29.

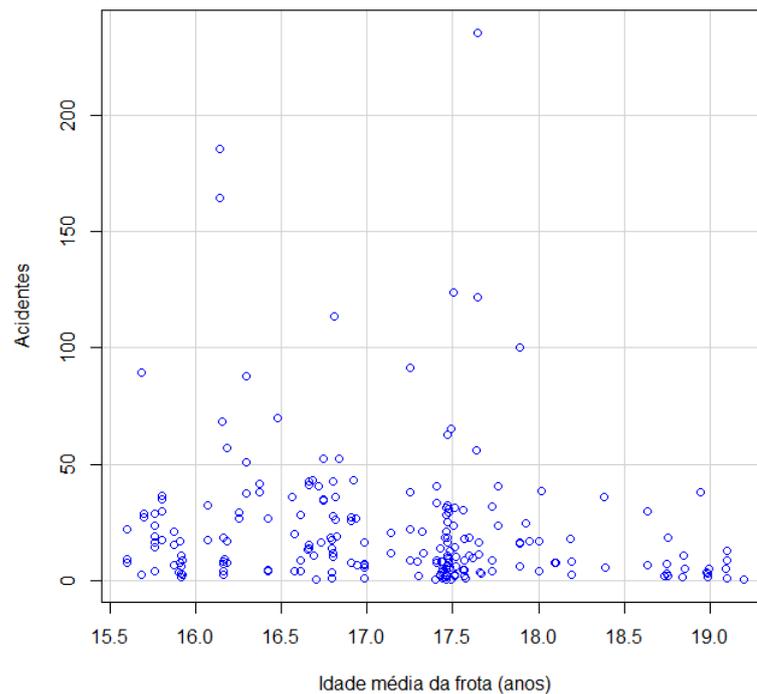
Figura 29 - Boxplot dos dados de idade da frota



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O boxplot dos dados de idade da frota não apresentou *outliers*, o que confirma sua homogeneidade. Outra observação é que a variação da idade da frota é reduzida, apresentando de 15 a 19 anos. A Figura 30 apresenta o gráfico de dispersão entre os sinistros e a idade média da frota.

Figura 30- Gráfico de dispersão Sinistros x Idade média da frota



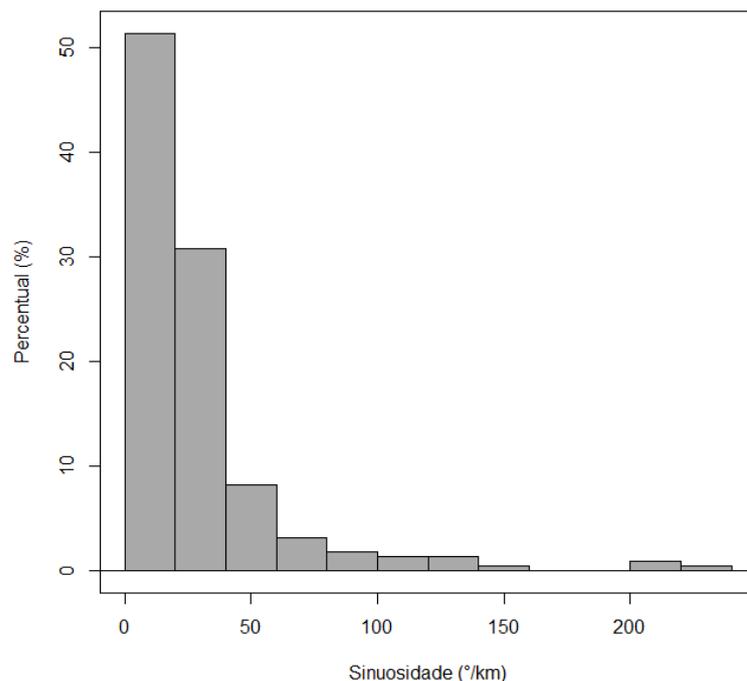
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Semelhante às demais variáveis, a idade média da frota não apresentou correlação linear com a ocorrência de sinistros, então, foi calculado o coeficiente de correlação de *Spearman*. O coeficiente de correlação foi de  $\rho = -0,22$ , com um p-valor de 0,0011, o que indicaria uma correlação negativa fraca. Porém, esta relação não faz sentido na prática, pois indicaria que, quanto maior a idade da frota menor o número de sinistros. Acredita-se que provavelmente os dados coletados não representam de forma precisa a idade da frota circulante em cada trecho rodoviário específico, já que as categorias consideradas no PNCT (fonte dos volumes) não são as mesmas consideradas no RNTRC (fonte da idade média). Além disso os veículos contabilizados no RNTRC são apenas aqueles com registro vigente na época da contagem, logo, podem existir veículos desatualizados no banco de dados, o que pode superestimar o tamanho da frota efetiva (ANTT, 2022).

#### 5.4.4 Sinuosidade do trecho

A Figura 31 mostra a distribuição dos dados de sinuosidade para os trechos da BR-116.

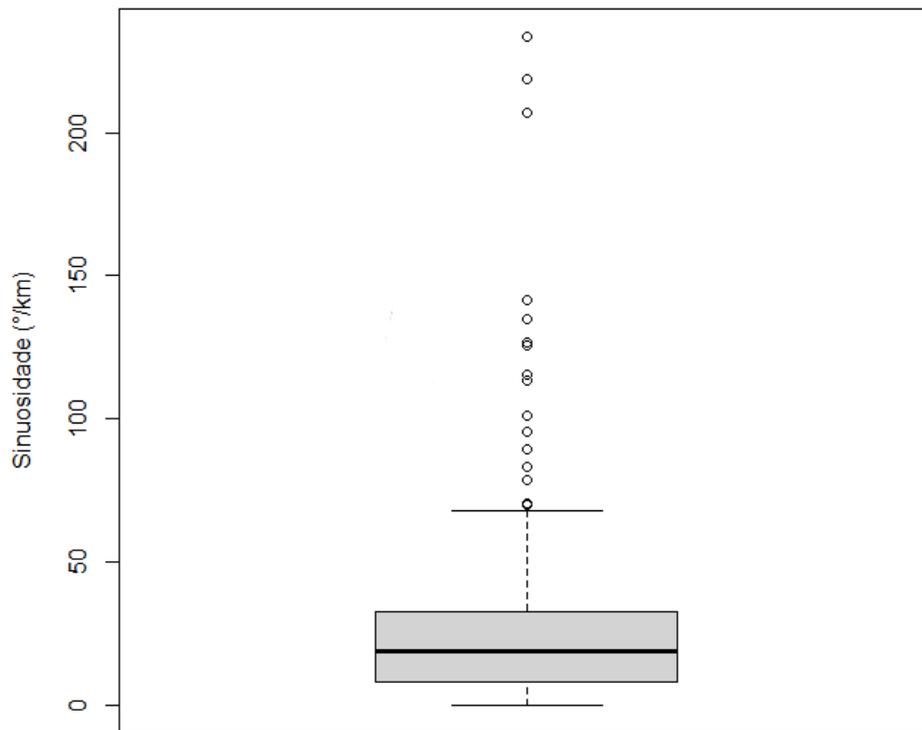
Figura 31 - Distribuição dos dados de sinuosidade do trecho



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Observando-se o histograma, percebe-se que mais da metade dos trechos possuem valores pequenos de sinuosidade, o que indica que não possuem muitas curvas horizontais acentuadas. A Figura 32 apresenta outro gráfico de distribuição dos dados de sinuosidade.

Figura 32 - Boxplot dos dados de sinuosidade

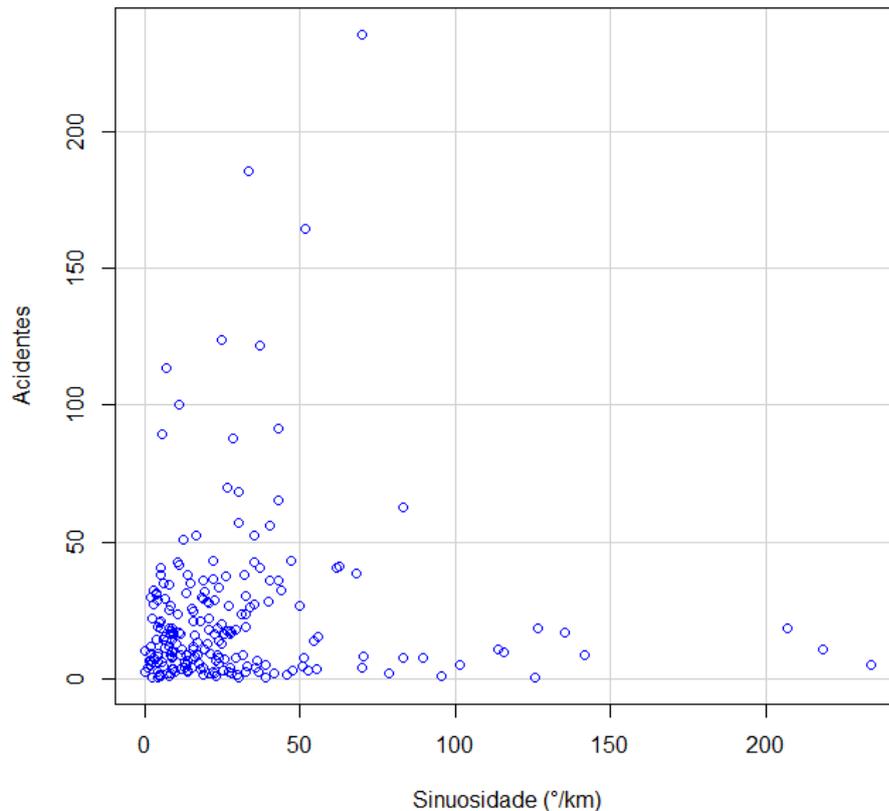


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O *boxplot* confirma a informação de que a maior parte dos trechos não apresentam alta sinuosidade, porém, existem trechos discrepantes entre os dados, os quais apresentam valores de mais de 200 °/km. Os trechos considerados *outliers* foram: 116BRS3150, 116BRS3110, 116BRJ1610, 116BRS3165, 116BRS3080, 116BRS3070, 116BRS3130, 116BRJ1970, 116BRJ1570 e 116BMG1270.

A Figura 33 ilustra o gráfico de dispersão entre os dados de sinistros e os dados de sinuosidade dos trechos.

Figura 33 - Gráfico de dispersão Sinistros x Sinuosidade do trecho



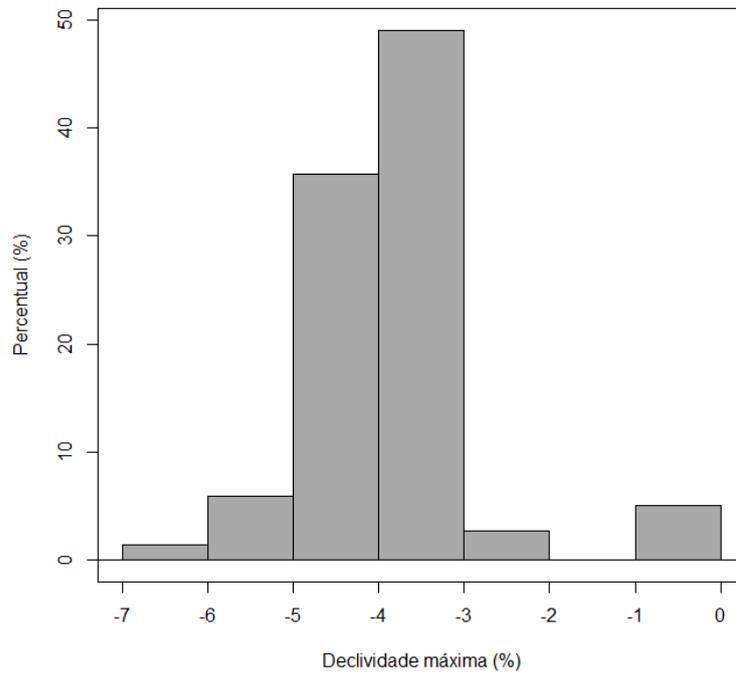
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Assim como nas demais variáveis, não foi possível identificar correlação linear entre os dados, logo, foi calculado o coeficiente de correlação de *Spearman*. O valor resultante foi de  $\rho = 0,077$ , com um p-valor = 0,26. Como o p-valor foi superior a 0,05, conclui-se que os dados não possuem correlação estatisticamente relevante. Este resultado indica que as curvas horizontais não possuem influência nos sinistros com veículos pesados, o que pode ter sido causado pelo fato de a rodovia BR-116 possuir a maior parte dos trechos com baixos valores de sinuosidade.

#### 5.4.5 Declividade máxima do trecho

A Figura 34 apresenta a distribuição dos dados de declividade nos trechos. Cabe ressaltar que a variável é chamada de “declividade máxima” devido ao fato de ter-se coletado a maior inclinação negativa possível apresentada por cada trecho.

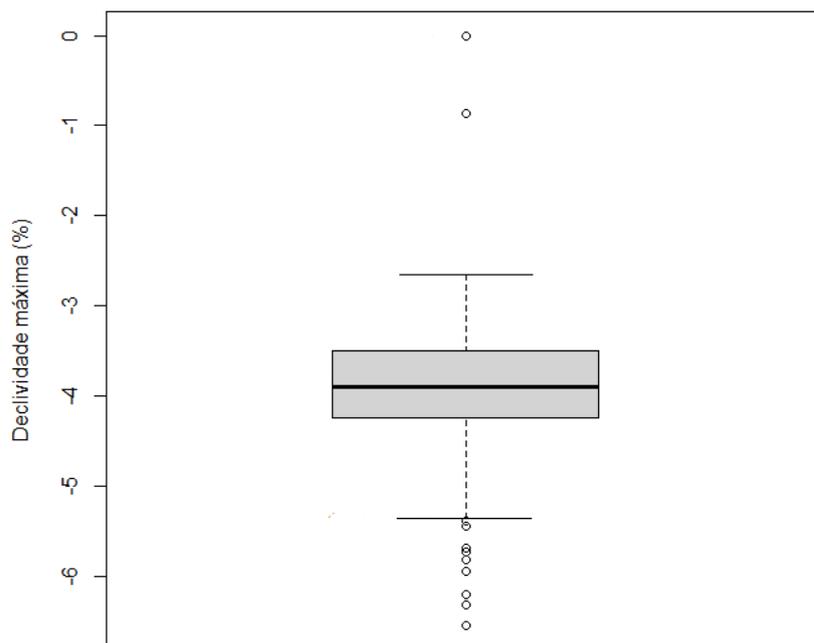
Figura 34 - Distribuição dos dados de declividade máxima do trecho



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

De acordo com o gráfico, a maior parte dos trechos possuem declividades de -3% a -4%, mas também são apresentados trechos planos, ou somente com acíves, representado menos de 10% dos dados.

Figura 35 - *Boxplot* dos dados de declividade máxima no trecho

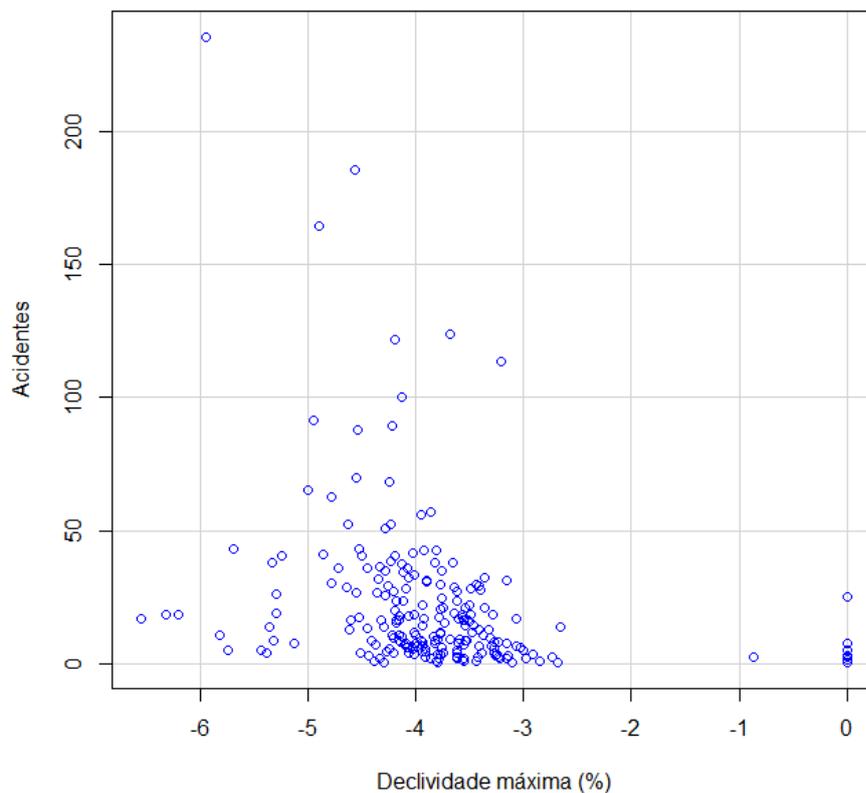


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Os dados de declividade possuem uma variação baixa, com a mediana pouco menor que 4% e os demais dados variando entre -2% e -5%, aproximadamente. Entretanto, existem alguns trechos discrepantes, tanto com valores de declividade inferiores, quanto superiores à distribuição, são eles: 116BRJ1530, 116BRJ1610, 116BRS3070, 116BRS3080, 116BRS3110, 116BRS3150, 116BSC2899, 116BSC2990, 116BSP2582, 116BBA0496, 116BCE0095, 116BCE0140, 116BMG1270, 116BMG1275, 116BMG1280, 116BRJ147017, 116BRJ1550, 116BRJ1910, 116BSP2270.

A Figura 36 apresenta o gráfico de dispersão entre a média anual de sinistros e a declividade máxima nos trechos.

Figura 36 - Gráfico de dispersão Sinistros x Declividade máxima no trecho



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Assim como nas demais variáveis analisadas, o gráfico não apresenta correlação linear entre as variáveis. Então, ao calcular o coeficiente de correlação de *Spearman*, encontrou-se um valor de  $\rho = -0,43$ , com um p-valor de  $2,32 \times 10^{-11}$ , o que indica que os sinistros possuem uma correlação negativa moderada com a declividade do trecho. Ou seja, quanto menor o valor da declividade — que

significam declividades mais acentuadas, maiores rampas de valores negativos —, maior a ocorrência de sinistros com veículos pesados. Esta conclusão era a esperada, devido ao fato de os transportadores utilizarem mais o sistema de frenagem em trechos declives, perdendo o controle do veículo.

A Tabela 8 apresenta os resultados e as interpretações dos testes de correlação de *Spearman* realizados com as variáveis em relação ao número de sinistros.

Tabela 8 - Resultados dos testes de correlação entre as variáveis e o número de sinistros

Variável	Correlação	p-valor	Interpretação
Extensão do trecho	0,52	$2,2 \times 10^{-16}$	Correlação positiva moderada
VMDa de pesados	0,44	$7,5 \times 10^{-9}$	Correlação positiva moderada
Idade média da frota	-0,22	$1,1 \times 10^{-3}$	Correlação negativa fraca
Sinuosidade do trecho	0,077	$2,5 \times 10^{-1}$	Não possui correlação
Declividade máxima	-0,43	$2,3 \times 10^{-11}$	Correlação negativa moderada

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Com base nos resultados dos testes, optou-se por inserir no modelo multicritérios as seguintes variáveis:

- Extensão do trecho;
- VMDa de veículos pesados;
- Declividade máxima no trecho.

A variável sinuosidade do trecho, que indica as curvas horizontais, não foi inserida pois não apresentou correlação com a ocorrência de sinistros, enquanto a idade média da frota apresentou resultados incoerentes.

## 5.5 CÁLCULO DO ÍNDICE DE ALOCAÇÃO DE ÁREA DE ESCAPE

Realizada a escolha dos critérios integrantes da metodologia, pôde-se calcular o Índice de Alocação de Área de Escape (IAAE) para cada um dos trechos analisados. O cálculo abaixo mostra, como exemplo, a fórmula do IAAE aplicada no trecho 116BSP2685:

$$IAAE = \frac{\sum\left(\frac{v}{\mu_v} \cdot \rho_v\right)}{\sum \rho_v} \quad (3)$$

$$IAAE = \frac{\left(\frac{74,7}{18,26} \cdot 0,52\right) + \left(\frac{6409}{2193,7} \cdot 0,44\right) + \left(\frac{-4,57}{-3,80} \cdot |-0,43|\right)}{0,52 + 0,44 + |-0,43|} = 2,83 \quad (4)$$

Onde:

$e$  = extensão do trecho = 74,7 km;

$\mu_e$  = média da extensão = 18,26 km;

$\rho_e$  = coeficiente de correção entre o número de sinistros e a extensão dos trechos = 0,52;

$vmda$  = VMDa do trecho = 6409 veículos/dia;

$\mu_{vmda}$  = média do VMDa = 2193,7 veículos/dia;

$\rho_{vmda}$  = coeficiente de correção entre o número de sinistros e o VMDa = 0,44;

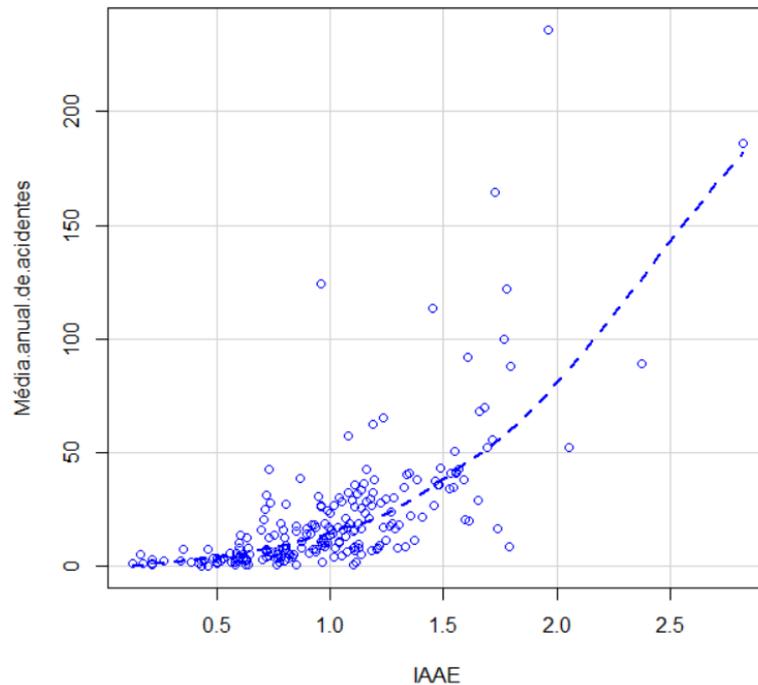
$d$  = declividade máxima do trecho = -4,57%;

$\mu_d$  = média da declividade = -3,80%;

$\rho_d$  = coeficiente de correção entre o número de sinistros e a declividade máxima dos trechos = |-0,43|.

Os valores de IAAE calculados para os demais trechos encontram-se no Apêndice D. A fim de verificar a validade do índice para a indicação de pontos críticos de sinistros com veículos pesados, verificou-se a correlação do IAAE calculado para cada trecho com a média anual de sinistros. O gráfico de dispersão entre essas variáveis encontra-se na Figura 37.

Figura 37 - Gráfico de dispersão Sinistros x IAAE



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

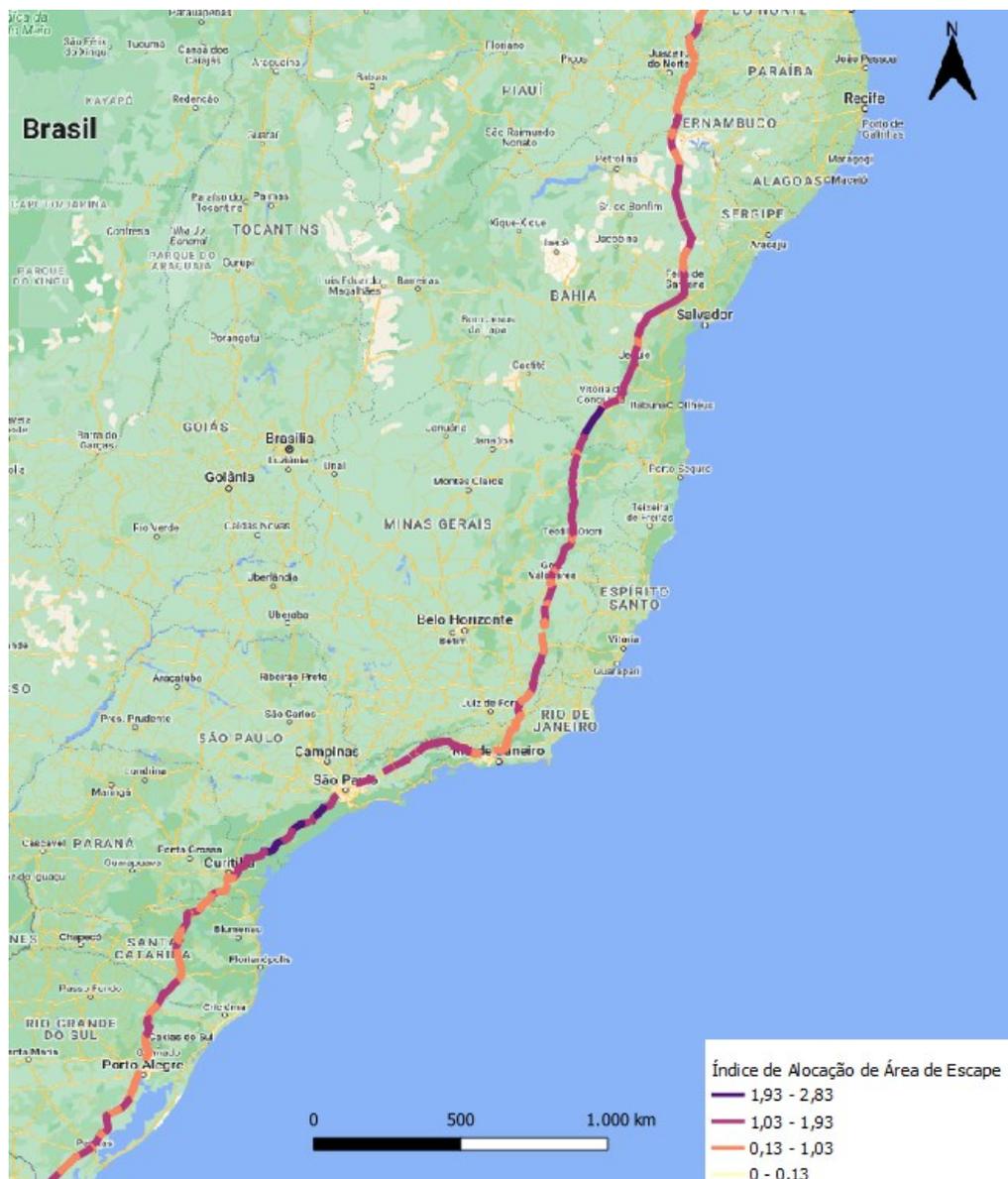
Observando o gráfico de dispersão, nota-se uma correlação positiva entre as variáveis. A fim de confirmar essa afirmação, foi calculado o coeficiente de correlação de *Spearman*, o qual teve como resultado  $\rho = 0,76$ , com um p-valor  $< 2,2 \times 10^{-16}$ . Este resultado indica que o IAAE criado possui forte correlação positiva com a média anual de sinistros com veículos pesados, ou seja, quanto maior o IAAE do trecho, maior a ocorrência de sinistros.

Realizou-se também o cálculo do IAAE para um trecho onde já existe uma área de escape implantada, a fim de verificar se a metodologia proposta indicaria este local. Segundo Alves et al. (2022), existe tal equipamento na rodovia BR-376, entre os km 667 e km 671, no estado do Paraná. Verificando o código do trecho, trata-se do 376BPR0490, o qual possui extensão de 37,6km, VMDa de 6.365 veículos/dia e inclinação declive máxima de -5,3%, considerando o sentido crescente da via. Inserindo os dados na fórmula, tem-se um valor de IAAE = 2,12, um resultado elevado, que corresponderia ao terceiro lugar na lista dos 218 trechos calculados.

## 5.6 HIERARQUIZAÇÃO DOS TRECHOS E IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS

Conforme mencionado no capítulo anterior, os valores de IAAE calculados para os trechos da BR-116 encontram-se, em ordem decrescente, no Apêndice D. Esses valores foram inseridos na camada georreferenciada do SNV, criando assim uma visualização categorizada dos trechos, com o uso da ferramenta QGIS. A Figura 38 mostra a BR-116, indicando na cor roxa os trechos críticos para alocação de áreas de escape. Salienta-se que os trechos excluídos (Apêndice B) não são apresentados no mapa.

Figura 38 - IAAE dos trechos da BR-116



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O IAAE calculado para a rodovia BR-116 apresentou valores de 0,13 até 2,83. Os quatro maiores valores do índice estão representados na cor roxa, e serão apresentados na Figura 39 e Figura 40 a seguir.

Figura 39 - Trechos de maior IAAE em SP



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

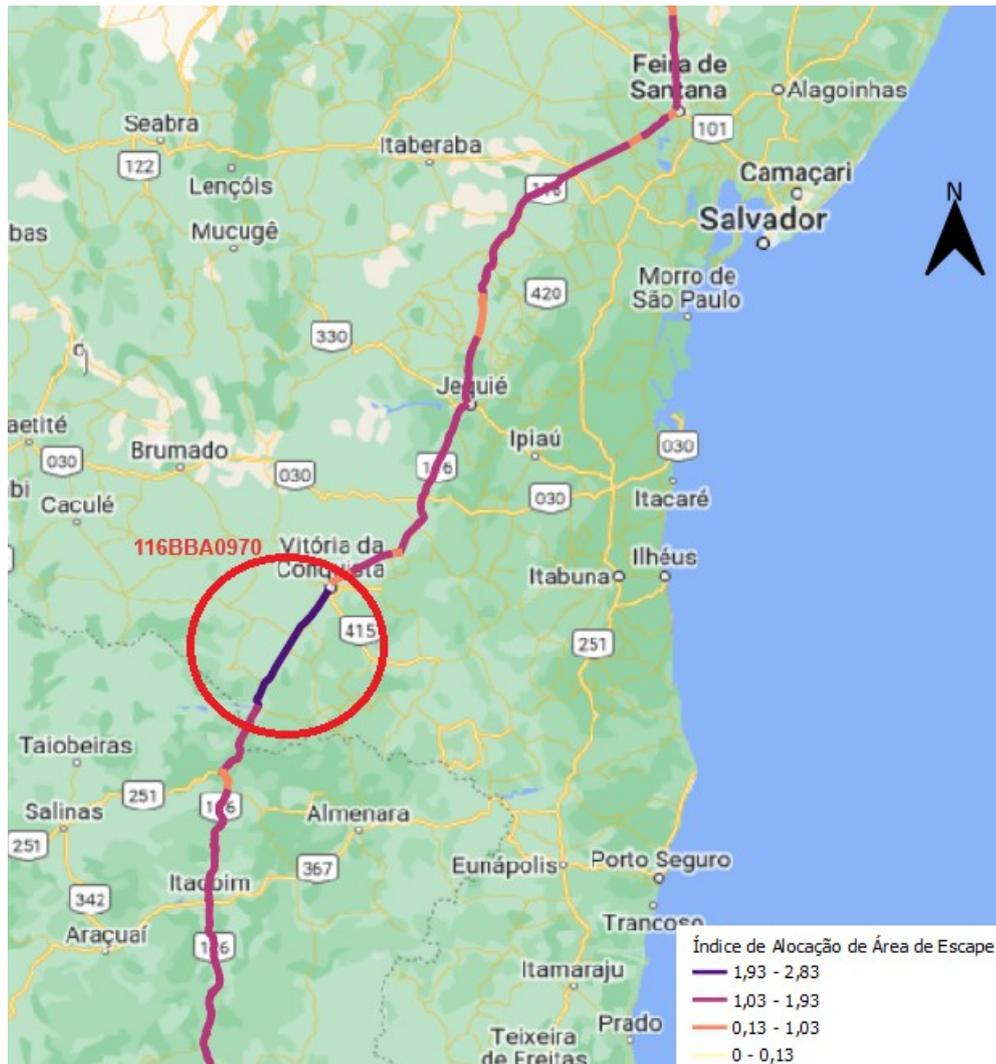
A Figura 39 mostra os trechos críticos localizados no estado de São Paulo. Esses foram o 1° (116BSP2685), 3° (116BSP2630) e 4° (116BSP2582) colocados na lista de trechos, hierarquizados de acordo com o valor de IAAE calculado para a BR-116. Os valores de IAAE apresentados foram de 2,82, 2,05 e 1,96, respectivamente. Juntos os três trechos apresentam mais de 470 sinistros com veículos pesados por ano, só no sentido crescente.

De forma prática, talvez não seria economicamente viável a instalação de áreas de escape nos três trechos, levando em consideração a sua proximidade.

Logo, deve-se elaborar estudos de viabilidade para cada situação apontada pelo índice.

A Figura 40 mostra o 2º trecho de maior IAAE na BR-116, localizado no estado da Bahia.

Figura 40 - Trecho de maior IAAE na BA



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O trecho 116BBA0970 apresentou um IAAE de 2,37, o que pode ser explicado pela sua elevada extensão de 82,3 km. A média anual de sinistros neste trecho também é relevante, apresentado por volta de 90 ocorrências por ano, no sentido crescente.

Portanto, foram hierarquizados 218 trechos da rodovia BR-116, de acordo com o IAAE calculado, sendo os quatro primeiros destacados acima, três localizados

no estado de São Paulo e um na Bahia. Os demais pontos críticos encontram-se listados no Apêndice D.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação teve como objetivo propor uma metodologia para a alocação de áreas de escape para veículos pesados em situação de emergência em rodovias brasileiras. Com o intuito de identificar os principais métodos para essa finalidade, utilizados nacional e internacionalmente, realizou-se uma revisão sistemática, a partir da qual destacaram-se as seguintes técnicas: identificação de pontos críticos, uso de técnicas estatísticas para a identificação de fatores de risco, metodologias multicritérios e metodologias de avaliação de segurança com dados escassos. Essas abordagens foram levadas em consideração para a concepção das etapas componentes da metodologia proposta.

Visto isso, foi proposta uma metodologia multicritérios para identificação de trechos rodoviários críticos para a alocação de áreas de escape, utilizando o coeficiente de correlação de *Spearman* para determinar os critérios relacionados com a ocorrência de sinistros envolvendo veículos pesados.

A fim de demonstrar a aplicabilidade do método, realizou-se um estudo de caso na rodovia com maior quantidade de sinistros com veículos pesados no Brasil, a BR-116. As variáveis indicadas como critérios do Índice de Alocação de Áreas de Escape (IAAE), na etapa 4 — Análise Estatística dos Dados —, foram o volume médio diário anual de veículos pesados, o percentual mais elevado de declividade no trecho e a extensão do trecho.

Acredita-se que a idade da frota é uma variável influente no fenômeno do *fade*, e conseqüentemente na ocorrência de sinistros. Porém, os dados coletados apresentaram um resultado duvidoso nas análises estatísticas, levando a crer que esses não representam de forma precisa a idade da frota passante em cada trecho da rodovia.

Outro percalço da pesquisa foi o georreferenciamento dos dados de sinistros por meio das coordenadas geográficas, as quais possuíam incoerências. Logo, para identificar os sinistros ocorridos em cada trecho, foi necessário utilizar a linguagem de programação *python* para posicioná-los de acordo com o quilômetro e o estado em que foram registrados pela PRF. Além disso, foi realizado o descarte de alguns trechos, devido à falta de dados de sinistros e de volume de tráfego e pela presença de características que inviabilizariam a implantação de áreas de escape, como extensão inferior a 1 km e a localização em áreas edificadas.

Como resultado da aplicação das seis etapas da metodologia elaborada, foram indicados 4 trechos críticos na rodovia analisada. Acredita-se que o Índice de Alocação de áreas de Escape criado pode ser eficaz na indicação de trechos que necessitem de tal equipamento de emergência, devido à correlação fortemente positiva apresentada entre o IAAE e a ocorrência de sinistros com veículos pesados.

Todavia, salienta-se que o índice indica apenas os locais críticos, onde indica-se a instalação de áreas de escape, o que não dispensa a necessidade da atuação de um analista de infraestrutura de transportes para avaliar de forma individual cada um dos locais indicados.

Portanto, espera-se que metodologia seja um instrumento estratégico que auxilie na tomada de decisão sobre a implantação de equipamentos de emergência, aumentando a segurança viária do país.

## 6.1 LIMITAÇÕES

Durante a elaboração desta pesquisa, foram observadas as seguintes limitações:

- a) Ausência de dados de idade da frota representativos para cada trecho do SNV;
- b) Divergência entre as classes de veículos identificadas pelos diferentes órgãos da infraestrutura brasileira;
- c) Imprecisão nas coordenadas geográficas dos locais de ocorrência de sinistros;
- d) Acesso limitado às informações geométricas das rodovias.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se os seguintes temas para elaboração de trabalhos futuros:

- a) Análise de viabilidade econômica da implantação de áreas de escape, considerando o valor investido e possíveis alterações nos volumes de tráfego ao longo do tempo;

- b) Investigação de outras variáveis que possam ter relação com a ocorrência de sinistros com veículos pesados, tornando-se critérios para a metodologia;
- c) Monitoramento do grau de efetividade da implantação de áreas de escape no aumento da segurança viária;
- d) Análise dos materiais empregados nas áreas de escape, visando o melhor comportamento de desaceleração dos veículos;
- e) Avaliação de diferentes técnicas estatísticas para a determinação dos critérios da metodologia para alocação de áreas de escape.

## REFERÊNCIAS

- AASHTO (2018). **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. American Association of State Highway and Transportation Officials. 7<sup>th</sup> Edition.
- AGARWAL, Pradeep Kumar; PATIL, Premit Kumar; MEHAR, Rakesh. A methodology for ranking road safety hazardous locations using analytical hierarchy process. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 104, p. 1030-1037, 2013.
- ALVES, Camila de Oliveira; RIBEIRO, Rafaela; NEGRI, Robison. Análise Comparativa do Aumento na Segurança dos Usuários da Rodovia Br-376/pr Com a Implantação das Áreas de Escape. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-10, 20 dez. 2021. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada. <http://dx.doi.org/10.25286/rep.v7i1.1470>.
- ALREJJAL, Anas; FARID, Ahmed; KSAIBATI, Khaled. A correlated random parameters approach to investigate large truck rollover crashes on mountainous interstates. **Accident Analysis & Prevention**, v. 159, p. 106233, 2021.
- ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas – RNTRC**. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/cargas/rntrc-1/rntrc-em-numeros>>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- ARSLAN, O.; JABALI, O.; LAPORTE, G. Exact Solution of the Evasive Flow Capturing Problem. **Operations Research**, v. 66, n. 6, p. 1625–1640, nov. 2018.
- ARTERIS. **Áreas de Escape da Arteris alcançam marco de 800 vidas salvas**. 2022a. Disponível em: <<https://site20122022.arteris.com.br/noticias/areas-de-escape-da-arteris-alcancam-marco-de-800-vidas-salvas/>>. Acesso em: 21, jan. 2023.
- ARTERIS. **Área de Escape evita sinistro com carga altamente inflamável**. 2022b. Disponível em: <<https://site20122022.arteris.com.br/noticias/area-de-escape-evita-sinistro-com-carga-altamente-inflamavel/>>. Acesso em: 21, jan. 2023.
- BATISTA, Ivanildo. **Testes de correlação**. 2021. Disponível em: <<https://ivanildo-batista13.medium.com/testes-de-correla%C3%A7%C3%A3o-3cb0a37e0f2>> Acesso em: 25 set. 2023.
- BRASIL. **Lei n. 12.379, de 6 de setembro de 2011**. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Viação – SNV. Brasília, DF: Presidência da República, [2011]. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/lei/l12379.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12379.htm)>. Acesso em: 30 jun. 2023.
- BRIZOLA, Jairo; FANTIN, Nádia. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. **Revista de Educação do Vale do Arinos-RELVA**, v. 3, n. 2, 2016.
- CÂMARA, Cláudio R. M.; SILVA, Rodrigo P.; GAVA, Newton W. **Viabilidade econômica para implantação de área de escape**. IPecege. São Paulo: IPecege, v.4, n. 2, 46-53, abr-jun, 2018.

CNT. Confederação Nacional dos Transportes. **Relatório Gerencial**. Brasília: Confederação Nacional dos Transportes, 2021. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatorio-gerencial>. Acesso em: 10 de jun. 2022.

CNT. Confederação Nacional dos Transportes. **Perfil dos Caminhoneiros: idade média da frota de caminhões passa dos 15 anos**. 2019. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/idade-media-frota-caminhoes-passa-15-anos-cnt-perfil-caminhoneiros>>. Acesso em: 30 de jun. 2023.

COELHO, Caio Cesar. **Análise da perda de eficiência de discos de freio em altas temperaturas**. 2021. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

COLAK, H. Ebru; MEMISOGLU, Tugba; ERBAS, Y. Selcuk e BEDIROGLU, Sevket. Hot spot analysis based on network spatial weights to determine spatial statistics of traffic accidents in Rize, Turkey. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, p. 1-11, 2018.

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual de Identificação, Análise e Tratamento de Pontos Negros**. Brasília: Ministério da Justiça, 2ª edição, 1987.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT divulga dados recentes da contagem de tráfego**. 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/cgplan-publica-na-internet-dados-recentes-do-pnct>>. Acesso em: 21, jan. 2023.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Estimativa do Volume Médio Diário Anual - VMDA**. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Modelagem>>. 2022. Acesso em: 15 jul. 2023.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Guia Prático do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-LEGAL**. v. 1.0, 2015.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Versão completa do Sistema Nacional de Viação vigente**. 2023. Disponível em: <[https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAdiNr?path=SNV%20Bases%20Geom%C3%A9tricas%20\(2013-Atual\)%20\(SHP\)](https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAdiNr?path=SNV%20Bases%20Geom%C3%A9tricas%20(2013-Atual)%20(SHP))>. Acesso em: 15 jul. 2023a.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Visualizador DNITGeo**. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>>. Acesso em: 08 ago. 2023b.

DONATO, H., DONATO, M. **Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática**. Acta Médica Portuguesa, v. 32, n. 3, 2019.

DONG, Chunjiao; DONG, Qiao; HUANG, Baoshan; HU, Wei e NAMBISAN, Shashi S. Estimating factors contributing to frequency and severity of large truck-involved

crashes. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, v. 143, n. 8, p. 04017032, 2017.

DUVVURI, Sarvani; PULUGURTHA, Srinivas S.; MATHEW, Sonu. Modeling injury severity of crashes involving trucks: Capturing and exploring risk factors associated with land use and demographic in addition to crash, driver, and on-network characteristics. **IATSS Research**, v. 46, n. 4, p. 602-613, 2022.

FANCELLO, Gianfranco; CARTA, Michele; FADDA, Paolo. Road intersections ranking for road safety improvement: Comparative analysis of multi-criteria decision making methods. **Transport policy**, v. 80, p. 188-196, 2019.

FHWA. **Grade Severity Rating System Users Manual**. FHWA-IP-88-015. Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, McLean, VA, August 1989.

FREITAS, Allyne; SILVA, Éliton; ASSIS, Mariana e SANTANA, Renato. “Áreas de escape e seus benefícios na malha rodoviária brasileira”. 2021.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

GHISOLFI, Verônica; RIBEIRO, Glaydston Mattos; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz; ORRICO FILHO, Rômulo Dante; HOFFMANN, Ivone Catarina Simões; PERIM, Leonardo Roberto. Evaluating impacts of overweight in road freight transportation: a case study in Brazil with system dynamics. **Sustainability**, v. 11, n. 11, p. 3128, 2019.

GUDES, Ori; VARHOL, Richard; SUN, Qian (Chayn); MEULENERS, Lynn. Investigating articulated heavy-vehicle crashes in Western Australia using a spatial approach. **Accident Analysis & Prevention**, v. 106, p. 243-253, 2017.

HEIDARIAN, Mohammad; KORDANI, Ali Abdi; SARKAR, Alireza; HOSSEINIAN, Mohsen. Location of emergency escape ramps on two-lane rural highways based on the fuzzy multicriteria decision-making method. **Journal of Engineering**, v. 2022, 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Frota de veículos**. 2022.

Disponível

em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28123>>. Acesso em: 30 jul. 2023

JACOB, B., e FEYPELL-DE LA BEAUMELLE, V. (2010) Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology. **IATSS Research**, 34(1), 9–15.  
doi:10.1016/j.iatssr.2010.06.003

LABTRANS. Laboratório de Transportes e Logística. **Restituidor as built**.

Disponível em: <<https://www.labtrans.ufsc.br/restituidor-as-built/>>. Acesso em: 25 jul. 2023.

LI, Chao; WANG, Yu Lan. Method of TER Location for High-Grade Highway Based on Fuzzy Rough Set. In: **Advanced Materials Research. Trans Tech Publications Ltd**, 2013. p. 1212-1216.

LI, Li; LI, Guang-Ze; ZHANG, Dong; FANG, Rui; YANG, Wen-Chen. Effects of emergency escape ramps on crash injury severity reduction on mountain freeways: A case study in China. **Journal of Transportation Safety & Security**, v. 14, n. 8, p. 1269-1288, 2022.

LOPES, André Filipe Miranda. **Avaliação do impacto na circulação e risco de sinistro em estradas em obras**. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2015.

MBAREK, Abdelilah; JIBER, Mouna; YAHYAOUY, Ali; SABRI, Abdelouahed. A new model for black spots identification using Weighted Severity Index. In: **2021 Fifth International Conference On Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS)**. IEEE, 2021. p. 1-7.

OBSERVATÓRIO Nacional de Segurança Viária. **Rodovias que perdoam**. 2019. Disponível em: <<https://www.onsv.org.br/projetos/rodovias-que-perdoam>>. Acesso em: 29, nov. 2023.

PARK, Byung-Jung; LORD, Dominique; LEE, Chungwon. Finite mixture modeling for vehicle crash data with application to hotspot identification. **Accident Analysis & Prevention**, v. 71, p. 319-326, 2014.

PAULUCCI, L. R.; SANTOS, T. M.; LUCAS, M. J. **Caminhões de carga e sinistros nas rodovias federais: Medidas de Contenção**. Bragança Paulista (SP): FATEC, 2020.

PERES, Fernanda. **Estatística Aplicada à Vida Real**. 2022. Disponível em: <<https://fernandafperes.com.br/blog/interpretacao-boxplot/>> Acesso em: 28 nov. 2023.

PERKONS. **Quatro em cada dez veículos de carga apresentam falha mecânica**. 2016. Disponível em: < <https://www.perkons.com/noticias/quatro-em-cada-dez-veiculos-de-carga-apresentam-falha-mecanica/>>. Acesso em: 21, jan. 2023.

PRF. Polícia Rodoviária Federal. **Dados abertos**. Brasília: Polícia Rodoviária Federal, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-sinistros>. Acesso em: 23 de jul. 2023.

RUSLI, Rusdi; HAQUE, Md. Mazharul; AFGHARI, Amir Pooyan; KING, Mark. Applying a random parameters Negative Binomial Lindley model to examine multi-vehicle crashes along rural mountainous highways in Malaysia. **Accident Analysis & Prevention**, v. 119, p. 80-90, 2018.

SILVA, Rafael Augusto da. Estudo de eficiência das áreas de escape e seu impacto na queda da acidentalidade relacionada a transporte de cargas pesadas: estudo de

caso ERS-431. 2022. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

*THE BRAKE REPORT. Thermal Imaging Used to Find Brake Defects.* 2021. Disponível em: <<https://thebrakereport.com/thermal-imaging-used-to-find-brake-defects/>>. Acesso em: 28 out. 2023.

THORPE, Richard; HOLT, Robin; MACPHERSON, Allan; PITTAWAY, Luke. Using knowledge within small and medium sized firms: a systematic review of the evidence. **International Journal of Management Reviews**, v.7, n. 4, p. 257-281, 2005.

U.S. Department of Transportation. **Intelligent Transportation Systems.** 2008. Disponível em: <[https://ntlrepository.blob.core.windows.net/lib/jpodocs/repts\\_te/14400.htm](https://ntlrepository.blob.core.windows.net/lib/jpodocs/repts_te/14400.htm)>. Acesso em: 29 nov. 2023.

WANG, Yonggang; LUO, Ye; CHEN, Fayu. Interpreting risk factors for truck crash severity on mountainous freeways in Jiangxi and Shaanxi, China. **European transport research review**, v. 11, p. 1-11, 2019.

WASAKI. **Áreas de escape das rodovias: como surgiram e como funcionam?** 2022. Disponível em: <<https://www.wasaki.com.br/areas-de-escape-das-rodovias-como-surgiram-e-como-funcionam/>>. Acesso em: 15, jan. 2023.

ZANOLI, Paulo Rogério. **Área de escape para caminhões desgovernados.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

## APÊNDICE A – Trechos SNV da BR-116

Código do trecho	UF	km inicial	km final	Extensão do trecho (km)
116BCE0015	CE	0	9,4	9,4
116BCE0017	CE	9,4	11,8	2,4
116BCE0020	CE	11,8	14,2	2,4
116BCE0030	CE	14,2	25,8	11,6
116BCE0040	CE	25,8	35,7	9,9
116BCE0050	CE	35,7	38,3	2,6
116BCE0060	CE	38,3	42,5	4,2
116BCE0070	CE	42,5	46,3	3,8
116BCE0080	CE	46,3	54	7,7
116BCE0090	CE	54	64,7	10,7
116BCE0095	CE	64,7	65,7	1
116BCE0100	CE	65,7	67,2	1,5
116BCE0105	CE	67,2	70,7	3,5
116BCE0110	CE	70,7	94,6	23,9
116BCE0120	CE	94,6	114,1	19,5
116BCE0130	CE	114,1	141,3	27,2
116BCE0140	CE	141,3	144	2,7
116BCE0150	CE	144	150,4	6,4
116BCE0160	CE	150,4	161,4	11
116BCE0170	CE	161,4	189,9	28,5
116BCE0180	CE	189,9	193,9	4
116BCE0190	CE	193,9	206,9	13
116BCE0200	CE	206,9	214,6	7,7
116BCE0210	CE	214,6	227,2	12,6
116BCE0220	CE	227,2	248,5	21,3
116BCE0230	CE	248,5	280,9	32,4
116BCE0240	CE	280,9	309,6	28,7
116BCE0250	CE	309,6	319	9,4
116BCE0260	CE	319	375,9	56,9
116BCE0270	CE	375,9	404,6	28,7
116BCE0280	CE	404,6	415,5	10,9
116BCE0290	CE	415,5	424,3	8,8
116BCE0295	CE	424,3	428,5	4,2
116BCE0310	CE	428,5	434,8	6,3
116BCE0350	CE	434,8	437,3	2,5
116BCE0360	CE	437,3	455,1	17,8
116BCE0370	CE	455,1	476,3	21,2
116BCE0380	CE	476,3	482	5,7
116BCE0390	CE	482	491,5	9,5
116BCE0395	CE	491,5	502,3	10,8
116BCE0410	CE	502,3	507,8	5,5
116BCE0412	CE	507,8	526,5	18,7
116BCE0414	CE	526,5	544,5	18

Código do trecho	UF	km inicial	km final	Extensão do trecho (km)
116BCE0416	CE	544,5	548,2	3,7
116BPE0430	PE	0	0,1	0,1
116BPE0440	PE	0,1	25,7	25,6
116BPE0450	PE	25,7	43,5	17,8
116BPE0460	PE	43,5	82,7	39,2
116BPE0470	PE	82,7	91,6	8,9
116BBA0490	BA	0	0,5	0,5
116BBA0491	BA	0,5	9,1	8,6
116BBA0492	BA	9,1	46,5	37,4
116BBA0494	BA	46,5	74	27,5
116BBA0496	BA	74	87,1	13,1
116BBA0510	BA	87,1	155,2	68,1
116BBA0550	BA	155,2	205,2	50
116BBA0560	BA	205,2	216,5	11,3
116BBA0570	BA	216,5	234,1	17,6
116BBA0572	BA	234,1	277,1	43
116BBA0590	BA	277,1	311,4	34,3
116BBA0591	BA	311,4	321	9,6
116BBA0592	BA	321	338,8	17,8
116BBA0610	BA	338,8	357	18,2
116BBA0632	BA	357	369,1	12,1
116BBA0650	BA	369,1	403,1	34
116BBA0670	BA	403,1	403,8	0,7
116BBA0690	BA	403,8	423,1	19,3
116BBA0700	BA	423,1	428,9	5,8
116BBA0710	BA	428,9	434,8	5,9
116BBA0712	BA	434,8	451,2	16,4
116BBA0730	BA	451,2	464,6	13,4
116BBA0750	BA	464,6	498,7	34,1
116BBA0770	BA	498,7	500	1,3
116BBA0780	BA	500	525,3	25,3
116BBA0790	BA	525,3	547,3	22
116BBA0791	BA	547,3	566,7	19,4
116BBA0792	BA	566,7	570,6	3,9
116BBA0810	BA	570,6	593,2	22,6
116BBA0812	BA	593,2	608,7	15,5
116BBA0814	BA	608,7	625	16,3
116BBA0830	BA	625	637,4	12,4
116BBA0832	BA	637,4	658,3	20,9
116BBA0850	BA	658,3	676,2	17,9
116BBA0870	BA	676,2	679	2,8
116BBA0890	BA	679	680,6	1,6
116BBA0910	BA	680,6	713,2	32,6
116BBA0915	BA	713,2	739,6	26,4
116BBA0925	BA	739,6	742,6	3

Código do trecho	UF	km inicial	km final	Extensão do trecho (km)
116BBA0930	BA	742,6	763,5	20,9
116BBA0932	BA	763,5	785,3	21,8
116BBA0934	BA	785,3	791,6	6,3
116BBA0950	BA	791,6	813,9	22,3
116BBA0955	BA	813,9	827,5	13,6
116BBA0957	BA	827,5	831,3	3,8
116BBA0960	BA	831,3	834,4	3,1
116BBA0965	BA	834,4	837,2	2,8
116BBA0970	BA	837,2	919,5	82,3
116BBA0972	BA	919,5	922	2,5
116BBA0990	BA	922	944,7	22,7
116BMG1010	MG	0	25,2	25,2
116BMG1015	MG	25,2	40,5	15,3
116BMG1020	MG	40,5	73,9	33,4
116BMG1030	MG	73,9	117,3	43,4
116BMG1050	MG	117,3	179,3	62
116BMG1070	MG	179,3	207,1	27,8
116BMG1090	MG	207,1	255	47,9
116BMG1110	MG	255	274	19
116BMG1120	MG	274	276,1	2,1
116BMG1130	MG	276,1	306,5	30,4
116BMG1150	MG	306,5	337	30,5
116BMG1160	MG	337	374,1	37,1
116BMG1170	MG	374,1	386,2	12,1
116BMG1175	MG	386,2	405,5	19,3
116BMG1180	MG	405,5	408,5	3
116BMG1185	MG	408,5	413	4,5
116BMG1190	MG	413	421,9	8,9
116BMG1195	MG	421,9	456,7	34,8
116BMG1202	MG	456,7	469,8	13,1
116BMG1210	MG	469,8	487,4	17,6
116BMG1230	MG	487,4	521,6	34,2
116BMG1250	MG	521,6	524,6	3
116BMG1270	MG	524,6	527,7	3,1
116BMG1275	MG	527,7	529,4	1,7
116BMG1280	MG	529,4	530,6	1,2
116BMG1285	MG	530,6	539,4	8,8
116BMG1287	MG	539,4	563,4	24
116BMG1290	MG	563,4	589,1	25,7
116BMG1295	MG	589,1	590,5	1,4
116BMG1300	MG	590,5	609,1	18,6
116BMG1310	MG	609,1	637,33	28,23
116BMG1330	MG	637,33	652,89	15,56
116BMG1350	MG	652,89	704,67	51,78
116BMG1360	MG	704,67	705,57	0,9

Código do trecho	UF	km inicial	km final	Extensão do trecho (km)
116BMG1370	MG	705,57	738,62	33,05
116BMG1390	MG	738,62	746,99	8,37
116BMG1410	MG	746,99	767,32	20,33
116BMG1430	MG	767,32	774,95	7,63
116BMG1450	MG	774,95	816,55	41,6
116BMG1465	MG	816,55	818,73	2,18
116BRJ1470	RJ	0	2,1	2,1
116BRJ1480	RJ	2,1	24,2	22,1
116BRJ1490	RJ	24,2	24,5	0,3
116BRJ1510	RJ	24,5	40	15,5
116BRJ1530	RJ	40	56,1	16,1
116BRJ1550	RJ	56,1	59,2	3,1
116BRJ1570	RJ	59,2	79,9	20,7
116BRJ1590	RJ	79,9	82,6	2,7
116BRJ1600	RJ	82,6	92,5	9,9
116BRJ1610	RJ	92,5	108	15,5
116BRJ1625	RJ	108	109,5	1,5
116BRJ1630	RJ	109,5	115,5	6
116BRJ1650	RJ	115,5	126,3	10,8
116BRJ1670	RJ	126,3	141,3	15
116BRJ1690	RJ	141,3	148,4	7,1
116BRJ1710	RJ	148,4	151,1	2,7
116BRJ1730	RJ	151,1	156,6	5,5
116BRJ1750	RJ	156,6	163,6	7
116BRJ1760	RJ	163,6	164,8	1,2
116BRJ1770	RJ	164,8	166,1	1,3
116BRJ1780	RJ	166,1	168,1	2
116BRJ1790	RJ	168,1	171,3	3,2
116BRJ1800	RJ	171,3	174,2	2,9
116BRJ1810	RJ	174,2	177,9	3,7
116BRJ1830	RJ	177,9	181,3	3,4
116BRJ1850	RJ	181,3	185,4	4,1
116BRJ1853	RJ	185,4	196,1	10,7
116BRJ1870	RJ	196,1	204,3	8,2
116BRJ1890	RJ	204,3	211,7	7,4
116BRJ1910	RJ	211,7	214,7	3
116BRJ1930	RJ	214,7	217,7	3
116BRJ1950	RJ	217,7	225,5	7,8
116BRJ1970	RJ	225,5	233,3	7,8
116BRJ1990	RJ	233,3	238,2	4,9
116BRJ2010	RJ	238,2	243,2	5
116BRJ2050	RJ	243,2	271	27,8
116BRJ2070	RJ	271	276,4	5,4
116BRJ2090	RJ	276,4	278,9	2,5
116BRJ2110	RJ	278,9	296,1	17,2

Código do trecho	UF	km inicial	km final	Extensão do trecho (km)
116BRJ2130	RJ	296,1	310,8	14,7
116BRJ2150	RJ	310,8	316,9	6,1
116BRJ2170	RJ	316,9	324,2	7,3
116BRJ2190	RJ	324,2	336,1	11,9
116BRJ2210	RJ	336,1	339,6	3,5
116BSP2230	SP	0	4,9	4,9
116BSP2243	SP	4,9	7,9	3
116BSP2250	SP	7,9	13,4	5,5
116BSP2255	SP	13,4	21,5	8,1
116BSP2265	SP	21,5	33,8	12,3
116BSP2270	SP	33,8	36,4	2,6
116BSP2290	SP	36,4	39,2	2,8
116BSP2310	SP	39,2	51,2	12
116BSP2330	SP	51,2	65	13,8
116BSP2340	SP	65	71,4	6,4
116BSP2345	SP	71,4	74,5	3,1
116BSP2350	SP	74,5	81	6,5
116BSP2360	SP	81	99	18
116BSP2370	SP	99	110,4	11,4
116BSP2390	SP	110,4	117,4	7
116BSP2410	SP	117,4	128,1	10,7
116BSP2430	SP	128,1	150	21,9
116BSP2450	SP	150	169,2	19,2
116BSP2470	SP	169,2	199,7	30,5
116BSP2490	SP	199,7	216,9	17,2
116BSP2510	SP	216,9	218,8	1,9
116BSP2520	SP	218,8	227	8,2
116BSP2530	SP	227	231,6	4,6
116BSP2550	SP	231,6	257	25,4
116BSP2555	SP	257	263,9	6,9
116BSP2560	SP	263,9	279	15,1
116BSP2565	SP	279	283	4
116BSP2570	SP	283	300,4	17,4
116BSP2572	SP	300,4	312,4	12
116BSP2575	SP	312,4	329,1	16,7
116BSP2582	SP	329,1	354,2	25,1
116BSP2587	SP	354,2	377,4	23,2
116BSP2590	SP	377,4	394,8	17,4
116BSP2610	SP	394,8	406,9	12,1
116BSP2630	SP	406,9	439,4	32,5
116BSP2650	SP	439,4	458,3	18,9
116BSP2670	SP	458,3	469,4	11,1
116BSP2685	SP	469,4	544,1	74,7
116BSP2700	SP	544,1	562	17,9
116BPR2710	PR	0	22,7	22,7

Código do trecho	UF	km inicial	km final	Extensão do trecho (km)
116BPR2720	PR	22,7	34,3	11,6
116BPR2725	PR	34,3	42,2	7,9
116BPR2730	PR	42,2	59,3	17,1
116BPR2740	PR	59,3	71,1	11,8
116BPR2750	PR	71,1	90,1	19
116BPR2755	PR	90,1	96,9	6,8
116BPR2760	PR	96,9	106,4	9,5
116BPR2770	PR	106,4	119,2	12,8
116BPR2790	PR	119,2	128,1	8,9
116BPR2793	PR	128,1	145,5	17,4
116BPR2797	PR	145,5	156,3	10,8
116BPR2800	PR	156,3	170,6	14,3
116BPR2803	PR	170,6	194,8	24,2
116BPR2810	PR	194,8	214,9	20,1
116BSC2830	SC	0	4,7	4,7
116BSC2850	SC	4,7	12,4	7,7
116BSC2870	SC	12,4	23,6	11,2
116BSC2875	SC	23,6	53,8	30,2
116BSC2890	SC	53,8	59,8	6
116BSC2891	SC	59,8	111,5	51,7
116BSC2895	SC	111,5	132,7	21,2
116BSC2897	SC	132,7	139,1	6,4
116BSC2899	SC	139,1	142,9	3,8
116BSC2910	SC	142,9	179,8	36,9
116BSC2920	SC	179,8	184,3	4,5
116BSC2930	SC	184,3	207,3	23
116BSC2940	SC	207,3	220,4	13,1
116BSC2950	SC	220,4	245,5	25,1
116BSC2970	SC	245,5	267,6	22,1
116BSC2990	SC	267,6	310,2	42,6
116BSC3000	SC	310,2	310,5	0,3
116BRS3010	RS	0	37,3	37,3
116BRS3020	RS	37,3	38,5	1,2
116BRS3030	RS	38,5	57,4	18,9
116BRS3050	RS	57,4	79,5	22,1
116BRS3070	RS	79,5	115	35,5
116BRS3080	RS	115	142	27
116BRS3090	RS	142	144,6	2,6
116BRS3100	RS	144,6	153,6	9
116BRS3110	RS	153,6	171,8	18,2
116BRS3130	RS	171,8	183,8	12
116BRS3150	RS	183,8	194,6	10,8
116BRS3160	RS	194,6	214,8	20,2
116BRS3165	RS	214,8	230,5	15,7
116BRS3168	RS	230,5	234,7	4,2

Código do trecho	UF	km inicial	km final	Extensão do trecho (km)
116BRS3170	RS	234,7	242,9	8,2
116BRS3190	RS	242,9	254,1	11,2
116BRS3210	RS	254,1	261,6	7,5
116BRS3230	RS	261,6	270,4	8,8
116BRS3250	RS	270,4	272,5	2,1
116BRS3255	RS	272,5	275,4	2,9
116BRS3260	RS	275,4	276,6	1,2
116BRS3265	RS	276,6	290,7	14,1
116BRS3270	RS	290,7	299,4	8,7
116BRS3277	RS	299,4	318,1	18,7
116BRS3280	RS	318,1	319,4	1,3
116BRS3290	RS	319,4	327,7	8,3
116BRS3295	RS	327,7	336,7	9
116BRS3297	RS	336,7	362,7	26
116BRS3310	RS	362,7	400,5	37,8
116BRS3330	RS	400,5	427	26,5
116BRS3340	RS	427	464,7	37,7
116BRS3350	RS	464,7	482,3	17,6
116BRS3355	RS	482,3	512,8	30,5
116BRS3357	RS	512,8	519,4	6,6
116BRS3360	RS	519,4	524,9	5,5
116BRS3365	RS	524,9	526,5	1,6
116BRS3370	RS	526,5	529,4	2,9
116BRS3380	RS	529,4	532,5	3,1
116BRS3390	RS	532,5	566,4	33,9
116BRS3410	RS	566,4	584,2	17,8
116BRS3430	RS	584,2	614,7	30,5
116BRS3450	RS	614,7	659,9	45,2
116BRS3460	RS	659,9	660,3	0,4

Fonte: DNIT (2023)

## APÊNDICE B – Trechos excluídos das análises

Código do trecho	UF	Motivo da exclusão
116BPE0430	PE	Extensão inferior a 1 km
116BRJ1490	RJ	
116BSC3000	SC	
116BRS3460	RS	
116BBA0490	BA	
116BBA0670	BA	
116BMG1360	MG	
116BBA0560	BA	
116BSP2560	SP	
116BSP2490	SP	
116BPR2793	PR	Trecho em área urbana
116BRS3020	RS	
116BBA0890	BA	
116BSP2510	SP	
116BRS3250	RS	
116BMG1120	MG	
116BCE0017	CE	
116BCE0020	CE	
116BCE0050	CE	
116BRS3090	RS	
116BBA0870	BA	
116BBA0965	BA	
116BRJ1800	RJ	
116BRS3255	RS	
116BSP2243	SP	
116BBA0960	BA	
116BRJ1790	RJ	
116BRJ1830	RJ	
116BRJ1810	RJ	
116BBA0957	BA	
116BSP2565	SP	
116BRJ1850	RJ	
116BCE0060	CE	
116BMG1185	MG	
116BSP2530	SP	
116BSC2830	SC	
116BCE0410	CE	
116BRS3360	RS	
116BBA0700	BA	
116BSP2340	SP	
116BSP2390	SP	
116BRJ1690	RJ	
116BRS3210	RS	

Código do trecho	UF	Motivo da exclusão
116BRJ1870	RJ	
116BSP2520	SP	
116BRS3170	RS	
116BRS3230	RS	
116BMG1190	MG	
116BRS3100	RS	
116BCE0015	CE	
116BRJ1853	RJ	
116BRS3190	RS	
116BSP2370	SP	
116BSP2330	SP	
116BSP2450	SP	
116BSP2430	SP	
116BRJ1760	RJ	
116BRJ1770	RJ	
116BRJ1710	RJ	
116BRJ1750	RJ	
116BRJ1780	RJ	
116BBA0925	BA	
116BRJ1730	RJ	
116BSP2555	SP	
116BSP2572	SP	
116BSP2590	SP	
116BBA0770	BA	
116BCE0310	CE	
116BMG1202	MG	
116BMG1285	MG	
116BMG1287	MG	
116BMG1295	MG	
116BMG1465	MG	
116BRJ1600	RJ	
116BRS3260	RS	
116BRS3265	RS	
116BRS3357	RS	
116BRS3365	RS	
116BSP2550	SP	

Falta de dados de VMDa

Falta de dados de sinuosidade,  
declividade e sinistros

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

### APÊNDICE C – Dados dos trechos

Código do trecho	Média anual de sinistros	Extensão (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Idade média da frota (anos)	Sinuosidade (°/km)	Declividade máxima (%)
116BBA0491	13,57	8,6	1448	16,80	7,01	-2,66
116BBA0492	29,43	37,4	1194	18,64	2,07	-3,76
116BBA0494	6,57	27,5	712	18,64	1,82	-3,29
116BBA0496	7,29	13,1	590	15,60	2,90	0,00
116BBA0510	8,86	68,1	590	15,60	4,25	-3,80
116BBA0550	21,86	50	688	15,60	2,29	-3,50
116BBA0570	4,00	17,6	877	16,16	1,25	-3,62
116BBA0572	18,57	43	769	16,16	4,98	-3,49
116BBA0590	8,00	34,3	1122	16,16	4,08	-3,23
116BBA0591	6,86	9,6	1122	16,16	3,19	-4,38
116BBA0592	2,43	17,8	952	16,16	4,11	-3,62
116BBA0610	9,14	18,2	949	16,17	1,93	-3,59
116BBA0632	7,71	12,1	1823	17,48	8,75	-3,60
116BBA0650	30,43	34	1827	17,48	3,84	-3,90
116BBA0690	29,00	19,3	2937	17,48	6,63	-3,42
116BBA0710	7,43	5,9	3422	16,18	23,98	-3,82
116BBA0712	57,14	16,4	2968	16,18	30,15	-3,86
116BBA0730	16,86	13,4	2938	16,18	9,14	-3,60
116BBA0750	26,86	34,1	3219	15,70	2,66	-3,62
116BBA0780	28,43	25,3	2406	15,70	4,39	-3,65
116BBA0790	19,00	22	2350	15,76	4,44	-3,65
116BBA0791	16,00	19,4	2555	15,76	11,35	-3,55
116BBA0792	3,71	3,9	2570	15,76	14,98	-3,75
116BBA0810	23,29	22,6	2459	15,76	32,61	-4,11
116BBA0812	28,43	15,5	2455	15,76	22,52	-4,64
116BBA0814	14,14	16,3	2476	15,76	6,20	-3,94
116BBA0830	14,29	12,4	2476	15,76	3,93	-3,47
116BBA0832	36,29	20,9	2529	15,80	22,21	-4,33
116BBA0850	17,14	17,9	2891	15,80	26,70	-3,57
116BBA0910	34,57	32,6	2450	15,80	14,96	-3,76
116BBA0915	29,57	26,4	2486	15,80	18,17	-3,44
116BBA0930	21,00	20,9	2442	15,88	18,15	-3,54
116BBA0932	15,29	21,8	2436	15,88	6,39	-3,73
116BBA0934	6,43	6,3	2436	15,88	1,57	-3,41
116BBA0950	32,43	22,3	2435	16,07	2,80	-3,36
116BBA0955	17,29	13,6	2435	16,07	8,15	-3,79
116BBA0970	89,29	82,3	2395	15,69	5,45	-4,22
116BBA0972	2,43	2,5	2438	15,69	26,89	-2,73
116BBA0990	8,29	22,7	2437	17,73	11,72	-3,54
116BCE0030	28,00	11,6	1494	17,46	20,32	-3,49
116BCE0040	20,71	9,9	1575	17,46	15,85	-3,37

Código do trecho	Média anual de sinistros	Extensão (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Idade média da frota (anos)	Sinuosidade (°/km)	Declividade máxima (%)
116BCE0070	1,71	3,8	1689	17,46	8,36	-3,16
116BCE0080	5,00	7,7	1688	17,46	13,29	-3,00
116BCE0090	31,43	10,7	1688	17,46	3,65	-3,16
116BCE0095	2,14	1	1688	17,46	36,77	0,00
116BCE0100	0,29	1,5	1264	17,46	30,15	-2,69
116BCE0105	2,29	3,5	1264	17,46	13,98	-3,23
116BCE0110	18,29	23,9	1112	17,46	7,96	-3,28
116BCE0120	6,57	19,5	590	17,47	14,04	-3,06
116BCE0130	5,86	27,2	295	17,46	12,99	-3,76
116BCE0140	1,43	2,7	506	17,46	29,97	0,00
116BCE0150	7,71	6,4	506	15,91	8,91	-3,16
116BCE0160	6,00	11	807	15,92	2,23	-3,03
116BCE0170	16,57	28,5	413	15,91	11,11	-3,07
116BCE0180	2,57	4	575	15,92	32,53	-3,42
116BCE0190	3,14	13	368	15,90	17,92	-3,80
116BCE0200	1,14	7,7	366	15,91	4,53	-3,57
116BCE0210	3,00	12,6	403	15,92	13,93	-3,26
116BCE0220	8,29	21,3	310	15,92	8,35	-3,82
116BCE0230	10,43	32,4	340	15,91	12,23	-4,00
116BCE0240	18,57	28,7	669	16,79	8,75	-3,56
116BCE0250	3,57	9,4	949	16,79	9,08	-3,24
116BCE0260	42,57	56,9	638	16,80	10,68	-3,80
116BCE0270	8,14	28,7	658	17,44	8,90	-4,14
116BCE0280	5,14	10,9	655	17,44	1,98	-3,61
116BCE0290	0,86	8,8	776	17,44	4,67	-3,55
116BCE0295	1,86	4,2	811	17,43	22,57	-3,62
116BCE0350	2,14	2,5	811	17,43	9,90	-3,23
116BCE0360	3,71	17,8	818	17,44	12,98	-4,06
116BCE0370	13,57	21,2	864	17,43	23,75	-5,36
116BCE0380	3,29	5,7	1209	17,43	11,32	-2,91
116BCE0390	7,86	9,5	930	17,44	15,92	-3,27
116BCE0395	12,57	10,8	976	17,49	9,95	-3,32
116BCE0412	12,57	18,7	949	17,48	20,34	-3,41
116BCE0414	5,57	18	889	17,48	17,69	-3,91
116BCE0416	0,14	3,7	893	17,49	4,13	-3,11
116BMG1010	31,71	25,2	1737	17,73	19,45	-4,34
116BMG1015	3,86	15,3	2314	17,73	35,70	-4,51
116BMG1020	23,71	33,4	1697	17,76	31,30	-4,18
116BMG1030	40,71	43,4	1667	17,76	37,18	-5,24
116BMG1050	55,86	62	872	17,64	40,28	-3,96
116BMG1070	18,71	27,8	858	16,82	32,41	-5,29
116BMG1090	35,86	47,9	798	16,81	40,30	-4,72
116BMG1110	26,00	19	972	16,82	34,13	-5,29
116BMG1130	42,86	30,4	1150	16,92	46,98	-4,52

Código do trecho	Média anual de sinistros	Extensão (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Idade média da frota (anos)	Sinuosidade (°/km)	Declividade máxima (%)
116BMG1150	25,57	30,5	1142	16,91	15,28	-4,28
116BMG1160	17,57	37,1	1133	17,57	20,48	-4,16
116BMG1170	4,43	12,1	1135	17,56	50,91	-3,91
116BMG1175	30,29	19,3	1754	17,56	32,50	-4,78
116BMG1180	1,57	3	1316	17,57	20,64	-3,79
116BMG1195	8,29	34,8	1112	17,57	23,49	-4,16
116BMG1210	5,29	17,6	799	18,39	23,67	-4,25
116BMG1230	35,71	34,2	516	18,38	42,95	-4,08
116BMG1250	3,29	3	636	18,98	55,37	-4,01
116BMG1270	5,14	3,1	702	19,00	101,43	0,00
116BMG1275	2,86	1,7	1260	18,99	52,77	0,00
116BMG1280	1,43	1,2	1317	18,99	45,79	0,00
116BMG1290	26,71	25,7	934	16,94	49,81	-4,35
116BMG1300	15,14	18,6	892	16,66	55,79	-4,18
116BMG1310	13,14	28,23	874	16,65	17,09	-4,45
116BMG1330	13,43	15,56	577	16,66	54,49	-4,29
116BMG1350	41,00	51,78	540	16,66	62,63	-4,85
116BMG1370	65,29	33,05	1059	17,49	43,00	-4,99
116BMG1390	2,29	8,37	704	18,20	22,20	-3,91
116BMG1410	17,86	20,33	688	18,18	29,27	-4,07
116BMG1430	8,14	7,63	1086	18,19	70,53	-3,99
116BMG1450	40,71	41,6	907	16,71	61,77	-4,50
116BPE0440	9,14	25,6	960	17,48	21,12	-3,68
116BPE0450	27,57	17,8	1124	16,80	20,59	-3,40
116BPE0460	11,71	39,2	1124	16,80	2,09	-3,48
116BPE0470	0,57	8,9	1448	16,80	5,35	-2,85
116BPR2710	87,71	22,7	6670	16,29	28,35	-4,54
116BPR2720	50,71	11,6	6670	16,29	12,57	-4,28
116BPR2725	37,57	7,9	6675	16,29	26,37	-4,13
116BPR2730	68,14	17,1	6675	16,16	30,14	-4,24
116BPR2740	35,86	11,8	6022	16,56	18,93	-4,45
116BPR2750	37,86	19	3425	16,37	13,70	-3,82
116BPR2755	41,71	6,8	7542	16,37	10,98	-4,03
116BPR2760	113,71	9,5	6890	16,81	6,94	-3,21
116BPR2770	124,00	12,8	2739	17,51	24,83	-3,68
116BPR2790	23,29	8,9	3607	17,50	10,50	-3,62
116BPR2797	18,57	10,8	1596	17,47	23,48	-4,02
116BPR2800	16,00	14,3	1000	17,47	27,45	-4,32
116BPR2803	17,29	24,2	1158	16,80	27,30	-4,53
116BPR2810	10,14	20,1	1662	16,80	0,00	-4,12
116BRJ1470	0,43	2,1	1179	16,70	39,07	0,00
116BRJ1480	7,71	22,1	442	18,09	83,20	-5,13
116BRJ1510	7,43	15,5	449	18,10	89,62	-4,08
116BRJ1530	5,14	16,1	451	18,86	39,09	-5,44

Código do trecho	Média anual de sinistros	Extensão (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Idade média da frota (anos)	Sinuosidade (°/km)	Declividade máxima (%)
116BRJ1550	1,14	3,1	755	18,84	18,89	0,00
116BRJ1570	10,71	20,7	757	18,84	113,71	-4,15
116BRJ1590	1,71	2,7	1063	18,73	78,68	-4,33
116BRJ1610	18,43	15,5	650	18,75	206,98	-6,32
116BRJ1625	2,00	1,5	650	18,75	28,01	-3,22
116BRJ1630	2,86	6	1503	18,75	25,40	-4,44
116BRJ1650	7,14	10,8	1503	18,75	15,47	-4,11
116BRJ1670	24,29	15	2612	17,92	15,50	-3,76
116BRJ1890	10,57	7,4	3795	17,47	15,54	-3,38
116BRJ1910	24,86	3	4539	17,47	7,84	0,00
116BRJ1930	1,86	3	5106	17,47	41,59	-3,87
116BRJ1950	32,43	7,8	4830	17,47	43,80	-4,06
116BRJ1970	9,57	7,8	4830	17,47	115,66	-3,31
116BRJ1990	62,71	4,9	4830	17,47	83,20	-4,78
116BRJ2010	6,57	5	4493	16,94	23,07	-3,94
116BRJ2050	52,29	27,8	5384	16,84	35,25	-4,23
116BRJ2070	26,86	5,4	5038	16,90	35,06	-4,20
116BRJ2090	7,71	2,5	5754	16,90	51,36	-4,00
116BRJ2110	91,71	17,2	5899	17,25	42,95	-4,95
116BRJ2130	37,86	14,7	6856	17,25	5,02	-3,66
116BRJ2150	8,57	6,1	6141	17,25	13,28	-3,95
116BRJ2170	22,14	7,3	6141	17,25	20,71	-3,94
116BRJ2190	16,29	11,9	5243	16,98	22,39	-3,51
116BRJ2210	0,86	3,5	4979	16,98	22,93	-3,81
116BRS3010	16,86	37,3	1046	18,01	27,87	-3,92
116BRS3030	38,43	18,9	941	18,02	68,19	-4,23
116BRS3050	3,86	22,1	271	18,00	70,15	-4,20
116BRS3070	18,14	35,5	498	17,60	126,60	-6,20
116BRS3080	16,57	27	353	17,95	135,05	-6,55
116BRS3110	10,57	18,2	802	17,59	218,49	-5,82
116BRS3130	0,43	12	586	19,20	125,81	-3,79
116BRS3150	5,14	10,8	561	19,09	233,70	-5,74
116BRS3160	0,71	20,2	550	19,10	95,49	-4,39
116BRS3165	8,29	15,7	805	19,10	141,58	-5,31
116BRS3168	12,57	4,2	1853	19,10	24,94	-4,62
116BRS3270	1,71	8,7	2460	17,51	8,48	-2,98
116BRS3277	14,00	18,7	1685	17,51	8,85	-3,55
116BRS3280	2,57	1,3	1685	17,51	0,00	-0,87
116BRS3290	5,71	8,3	823	17,51	5,64	-3,28
116BRS3295	10,29	9	691	17,52	8,84	-3,83
116BRS3297	31,00	26	663	17,51	13,56	-3,89
116BRS3310	21,00	37,8	642	17,32	5,36	-3,74
116BRS3330	11,43	26,5	677	17,33	7,95	-4,02
116BRS3340	9,43	37,7	717	17,62	9,02	-4,21

Código do trecho	Média anual de sinistros	Extensão (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Idade média da frota (anos)	Sinuosidade (°/km)	Declividade máxima (%)
116BRS3350	3,43	17,6	725	17,66	8,92	-3,77
116BRS3355	10,86	30,5	740	17,65	6,30	-3,77
116BRS3370	2,71	2,9	2058	17,66	47,70	-3,14
116BRS3380	1,00	3,1	535	17,58	8,09	-3,44
116BRS3390	4,43	33,9	263	17,57	5,99	-3,94
116BRS3410	0,43	17,8	343	17,40	2,56	-4,30
116BRS3430	2,00	30,5	343	17,30	7,43	-3,56
116BRS3450	8,00	45,2	349	17,29	8,61	-3,94
116BSC2850	15,86	7,7	1727	17,89	16,32	-3,50
116BSC2870	6,14	11,2	1092	17,89	4,44	-4,08
116BSC2875	16,00	30,2	1031	17,89	8,19	-4,18
116BSC2890	3,86	6	1374	16,58	18,81	-3,39
116BSC2891	19,86	51,7	1479	16,58	24,74	-4,19
116BSC2895	26,71	21,2	1159	16,42	27,28	-4,36
116BSC2897	4,29	6,4	969	16,42	33,13	-4,27
116BSC2899	4,14	3,8	1377	16,42	27,42	-5,38
116BSC2910	27,86	36,9	914	16,62	39,64	-4,09
116BSC2920	3,71	4,5	961	16,61	35,81	-3,27
116BSC2930	8,71	23	1017	16,61	31,78	-4,41
116BSC2940	42,43	13,1	981	16,66	35,39	-3,92
116BSC2950	16,00	25,1	1057	16,73	25,81	-4,16
116BSC2970	10,71	22,1	1109	16,69	19,29	-4,22
116BSC2990	43,14	42,6	1045	16,68	22,11	-5,69
116BSP2230	7,00	4,9	4979	16,98	25,69	-3,56
116BSP2250	5,43	5,5	4812	16,98	23,92	-4,03
116BSP2255	6,71	8,1	4812	16,98	36,03	-3,99
116BSP2265	38,00	12,3	4812	18,94	32,24	-5,33
116BSP2270	7,29	2,6	5227	17,41	29,51	0,00
116BSP2290	33,43	2,8	5234	17,41	23,70	-4,01
116BSP2310	40,29	12	5216	17,41	5,14	-4,20
116BSP2345	8,71	3,1	5260	17,41	17,24	-3,53
116BSP2350	11,71	6,5	6449	17,14	15,80	-3,77
116BSP2360	20,29	18	6369	17,14	4,47	-3,77
116BSP2410	16,29	10,7	7942	17,65	9,28	-4,60
116BSP2470	100,14	30,5	5615	17,89	11,30	-4,13
116BSP2570	70,00	17,4	6597	16,48	26,40	-4,55
116BSP2575	29,29	16,7	6683	16,26	18,95	-4,26
116BSP2582	236,00	25,1	6684	17,65	70,07	-5,95
116BSP2587	121,71	23,2	6684	17,65	37,05	-4,19
116BSP2610	34,14	12,1	6528	16,75	8,05	-4,11
116BSP2630	52,14	32,5	7009	16,75	16,53	-4,63
116BSP2650	34,57	18,9	5593	16,75	5,98	-4,28
116BSP2670	26,43	11,1	3531	16,25	8,53	-4,56
116BSP2685	186,00	74,7	6409	16,14	33,67	-4,57

Código do trecho	Média anual de sinistros	Extensão (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Idade média da frota (anos)	Sinuosidade (°/km)	Declividade máxima (%)
116BSP2700	164,43	17,9	6669	16,14	51,52	-4,89

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

## APÊNDICE D – Hierarquização dos trechos de acordo com o IAAE

Ordem	Código do trecho	IAAE	Média anual de sinistros	Extensão do trecho (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Declividade máxima (%)
1	116BSP2685	2,825	186,00	74,7	6409	-4,57
2	116BBA0970	2,374	89,29	82,3	2395	-4,22
3	116BSP2630	2,053	52,14	32,5	7009	-4,63
4	116BSP2582	1,963	236,00	25,1	6684	-5,95
5	116BPR2710	1,797	87,71	22,7	6670	-4,54
6	116BBA0510	1,788	8,86	68,1	590	-3,80
7	116BSP2587	1,780	121,71	23,2	6684	-4,19
8	116BSP2470	1,770	100,14	30,5	5615	-4,13
9	116BSP2410	1,739	16,29	10,7	7942	-4,60
10	116BSP2700	1,727	164,43	17,9	6669	-4,89
11	116BMG1050	1,717	55,86	62	872	-3,96
12	116BRJ2050	1,690	52,29	27,8	5384	-4,23
13	116BSP2570	1,679	70,00	17,4	6597	-4,55
14	116BPR2730	1,658	68,14	17,1	6675	-4,24
15	116BSP2575	1,652	29,29	16,7	6683	-4,26
16	116BSC2891	1,613	19,86	51,7	1479	-4,19
17	116BRJ2110	1,607	91,71	17,2	5899	-4,95
18	116BSP2360	1,594	20,29	18	6369	-3,77
19	116BRJ2130	1,587	37,86	14,7	6856	-3,66
20	116BCE0260	1,567	42,57	56,9	638	-3,80
21	116BMG1030	1,557	40,71	43,4	1667	-5,24
22	116BPR2755	1,555	41,71	6,8	7542	-4,03
23	116BPR2720	1,548	50,71	11,6	6670	-4,28
24	116BSP2650	1,542	34,57	18,9	5593	-4,28
25	116BMG1350	1,534	41,00	51,78	540	-4,85
26	116BSP2610	1,524	34,14	12,1	6528	-4,11
27	116BSC2990	1,487	43,14	42,6	1045	-5,69
28	116BMG1090	1,481	35,86	47,9	798	-4,72
29	116BPR2740	1,473	35,86	11,8	6022	-4,45
30	116BPR2725	1,461	37,57	7,9	6675	-4,13
31	116BBA0750	1,457	26,86	34,1	3219	-3,62
32	116BPR2760	1,450	113,71	9,5	6890	-3,21
33	116BBA0550	1,408	21,86	50	688	-3,50
34	116BSP2265	1,381	38,00	12,3	4812	-5,33
35	116BSP2350	1,371	11,71	6,5	6449	-3,77
36	116BRJ2170	1,356	22,14	7,3	6141	-3,94
37	116BMG1450	1,350	40,71	41,6	907	-4,50
38	116BSP2310	1,340	40,29	12	5216	-4,20
39	116BRJ2150	1,332	8,57	6,1	6141	-3,95
40	116BBA0910	1,328	34,57	32,6	2450	-3,76
41	116BRS3070	1,306	18,14	35,5	498	-6,20
42	116BRS3450	1,297	8,00	45,2	349	-3,94
43	116BRJ2190	1,286	16,29	11,9	5243	-3,51

Ordem	Código do trecho	IAAE	Média anual de sinistros	Extensão do trecho (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Declividade máxima (%)
44	116BBA0650	1,278	30,43	34	1827	-3,90
45	116BBA0572	1,275	18,57	43	769	-3,49
46	116BMG1020	1,270	23,71	33,4	1697	-4,18
47	116BMG1160	1,262	17,57	37,1	1133	-4,16
48	116BPE0460	1,248	11,71	39,2	1124	-3,48
49	116BBA0492	1,245	29,43	37,4	1194	-3,76
50	116BMG1370	1,237	65,29	33,05	1059	-4,99
51	116BRS3010	1,234	16,86	37,3	1046	-3,92
52	116BSC2910	1,221	27,86	36,9	914	-4,09
53	116BRS3340	1,219	9,43	37,7	717	-4,21
54	116BMG1195	1,212	8,29	34,8	1112	-4,16
55	116BRJ2090	1,207	7,71	2,5	5754	-4,00
56	116BPR2750	1,195	37,86	19	3425	-3,82
57	116BRJ1950	1,188	32,43	7,8	4830	-4,06
58	116BRJ1990	1,188	62,71	4,9	4830	-4,78
59	116BSP2255	1,186	6,71	8,1	4812	-3,99
60	116BRJ2070	1,180	26,86	5,4	5038	-4,20
61	116BBA0915	1,180	29,57	26,4	2486	-3,44
62	116BRS3310	1,172	21,00	37,8	642	-3,74
63	116BBA0780	1,162	28,43	25,3	2406	-3,65
64	116BMG1130	1,157	42,86	30,4	1150	-4,52
65	116BBA0810	1,153	23,29	22,6	2459	-4,11
66	116BBA0832	1,146	36,29	20,9	2529	-4,33
67	116BSP2290	1,140	33,43	2,8	5234	-4,01
68	116BRS3080	1,139	16,57	27	353	-6,55
69	116BMG1150	1,139	25,57	30,5	1142	-4,28
70	116BSP2250	1,135	5,43	5,5	4812	-4,03
71	116BBA0590	1,127	8,00	34,3	1122	-3,23
72	116BRJ1970	1,126	9,57	7,8	4830	-3,31
73	116BMG1070	1,125	18,71	27,8	858	-5,29
74	116BMG1010	1,121	31,71	25,2	1737	-4,34
75	116BRJ1930	1,113	1,86	3	5106	-3,87
76	116BSP2345	1,110	8,71	3,1	5260	-3,53
77	116BSP2230	1,109	7,00	4,9	4979	-3,56
78	116BSP2670	1,108	26,43	11,1	3531	-4,56
79	116BSC2875	1,108	16,00	30,2	1031	-4,18
80	116BMG1230	1,107	35,71	34,2	516	-4,08
81	116BBA0990	1,105	8,29	22,7	2437	-3,54
82	116BBA0932	1,102	15,29	21,8	2436	-3,73
83	116BRJ2210	1,100	0,86	3,5	4979	-3,81
84	116BBA0690	1,097	29,00	19,3	2937	-3,42
85	116BBA0790	1,087	19,00	22	2350	-3,65
86	116BBA0950	1,081	32,43	22,3	2435	-3,36
87	116BBA0712	1,079	57,14	16,4	2968	-3,86
88	116BBA0850	1,074	17,14	17,9	2891	-3,57

Ordem	Código do trecho	IAAE	Média anual de sinistros	Extensão do trecho (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Declividade máxima (%)
89	116BRJ2010	1,072	6,57	5	4493	-3,94
90	116BBA0930	1,069	21,00	20,9	2442	-3,54
91	116BMG1310	1,067	13,14	28,23	874	-4,45
92	116BBA0791	1,055	16,00	19,4	2555	-3,55
93	116BRS3390	1,054	4,43	33,9	263	-3,94
94	116BBA0812	1,050	28,43	15,5	2455	-4,64
95	116BCE0230	1,039	10,43	32,4	340	-4,00
96	116BRS3355	1,039	10,86	30,5	740	-3,77
97	116BMG1175	1,039	30,29	19,3	1754	-4,78
98	116BPR2803	1,032	17,29	24,2	1158	-4,53
99	116BCE0270	1,020	8,14	28,7	658	-4,14
100	116BMG1290	1,016	26,71	25,7	934	-4,35
101	116BMG1015	1,015	3,86	15,3	2314	-4,51
102	116BBA0814	1,012	14,14	16,3	2476	-3,94
103	116BSC2950	1,006	16,00	25,1	1057	-4,16
104	116BPR2790	0,998	23,29	8,9	3607	-3,62
105	116BCE0370	0,996	13,57	21,2	864	-5,36
106	116BBA0730	0,992	16,86	13,4	2938	-3,60
107	116BRJ1670	0,991	24,29	15	2612	-3,76
108	116BPR2810	0,988	10,14	20,1	1662	-4,12
109	116BSC2930	0,977	8,71	23	1017	-4,41
110	116BCE0240	0,975	18,57	28,7	669	-3,56
111	116BRJ1890	0,975	10,57	7,4	3795	-3,38
112	116BRS3330	0,968	11,43	26,5	677	-4,02
113	116BRS3430	0,964	2,00	30,5	343	-3,56
114	116BRS3110	0,964	10,57	18,2	802	-5,82
115	116BPE0440	0,963	9,14	25,6	960	-3,68
116	116BMG1110	0,962	26,00	19	972	-5,29
117	116BPR2770	0,957	124,00	12,8	2739	-3,68
118	116BSC2970	0,957	10,71	22,1	1109	-4,22
119	116BSC2895	0,957	26,71	21,2	1159	-4,36
120	116BRS3297	0,946	31,00	26	663	-3,89
121	116BBA0955	0,939	17,29	13,6	2435	-3,79
122	116BRJ1480	0,936	7,71	22,1	442	-5,13
123	116BBA0494	0,935	6,57	27,5	712	-3,29
124	116BRJ1610	0,928	18,43	15,5	650	-6,32
125	116BBA0710	0,926	7,43	5,9	3422	-3,82
126	116BCE0110	0,917	18,29	23,9	1112	-3,28
127	116BRS3277	0,915	14,00	18,7	1685	-3,55
128	116BCE0130	0,907	5,86	27,2	295	-3,76
129	116BBA0830	0,894	14,29	12,4	2476	-3,47
130	116BCE0170	0,894	16,57	28,5	413	-3,07
131	116BRJ1570	0,872	10,71	20,7	757	-4,15
132	116BRS3165	0,872	8,29	15,7	805	-5,31
133	116BRS3030	0,868	38,43	18,9	941	-4,23

Ordem	Código do trecho	IAAE	Média anual de sinistros	Extensão do trecho (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Declividade máxima (%)
134	116BRS3160	<b>0,852</b>	0,71	20,2	550	-4,39
135	116BMG1300	<b>0,851</b>	15,14	18,6	892	-4,18
136	116BMG1410	<b>0,848</b>	17,86	20,33	688	-4,07
137	116BRJ1530	<b>0,839</b>	5,14	16,1	451	-5,44
138	116BRS3050	<b>0,835</b>	3,86	22,1	271	-4,20
139	116BMG1210	<b>0,823</b>	5,29	17,6	799	-4,25
140	116BCE0414	<b>0,816</b>	5,57	18	889	-3,91
141	116BCE0360	<b>0,814</b>	3,71	17,8	818	-4,06
142	116BSP2270	<b>0,806</b>	7,29	2,6	5227	0,00
143	116BBA0632	<b>0,805</b>	7,71	12,1	1823	-3,60
144	116BPE0450	<b>0,804</b>	27,57	17,8	1124	-3,40
145	116BBA0610	<b>0,802</b>	9,14	18,2	949	-3,59
146	116BCE0412	<b>0,799</b>	12,57	18,7	949	-3,41
147	116BBA0592	<b>0,797</b>	2,43	17,8	952	-3,62
148	116BCE0220	<b>0,793</b>	8,29	21,3	310	-3,82
149	116BPR2800	<b>0,790</b>	16,00	14,3	1000	-4,32
150	116BBA0570	<b>0,782</b>	4,00	17,6	877	-3,62
151	116BPR2797	<b>0,780</b>	18,57	10,8	1596	-4,02
152	116BRS3270	<b>0,776</b>	1,71	8,7	2460	-2,98
153	116BRJ1650	<b>0,773</b>	7,14	10,8	1503	-4,11
154	116BRS3350	<b>0,773</b>	3,43	17,6	725	-3,77
155	116BRS3150	<b>0,771</b>	5,14	10,8	561	-5,74
156	116BRS3410	<b>0,765</b>	0,43	17,8	343	-4,30
157	116BBA0934	<b>0,759</b>	6,43	6,3	2436	-3,41
158	116BBA0792	<b>0,757</b>	3,71	3,9	2570	-3,75
159	116BMG1330	<b>0,753</b>	13,43	15,56	577	-4,29
160	116BCE0030	<b>0,738</b>	28,00	11,6	1494	-3,49
161	116BCE0120	<b>0,734</b>	6,57	19,5	590	-3,06
162	116BRS3168	<b>0,731</b>	12,57	4,2	1853	-4,62
163	116BMG1170	<b>0,731</b>	4,43	12,1	1135	-3,91
164	116BSC2940	<b>0,730</b>	42,43	13,1	981	-3,92
165	116BCE0090	<b>0,721</b>	31,43	10,7	1688	-3,16
166	116BSC2870	<b>0,720</b>	6,14	11,2	1092	-4,08
167	116BSC2899	<b>0,717</b>	4,14	3,8	1377	-5,38
168	116BBA0591	<b>0,716</b>	6,86	9,6	1122	-4,38
169	116BRJ1510	<b>0,716</b>	7,43	15,5	449	-4,08
170	116BRJ1910	<b>0,715</b>	24,86	3	4539	0,00
171	116BCE0040	<b>0,705</b>	20,71	9,9	1575	-3,37
172	116BRJ1630	<b>0,702</b>	2,86	6	1503	-4,44
173	116BSC2850	<b>0,693</b>	15,86	7,7	1727	-3,50
174	116BCE0080	<b>0,646</b>	5,00	7,7	1688	-3,00
175	116BRS3130	<b>0,640</b>	0,43	12	586	-3,79
176	116BMG1430	<b>0,639</b>	8,14	7,63	1086	-3,99
177	116BCE0395	<b>0,633</b>	12,57	10,8	976	-3,32
178	116BCE0190	<b>0,630</b>	3,14	13	368	-3,80

Ordem	Código do trecho	IAAE	Média anual de sinistros	Extensão do trecho (km)	VMDa pesados (veh/dia)	Declividade máxima (%)
179	116BBA0972	0,626	2,43	2,5	2438	-2,73
180	116BPE0470	0,624	0,57	8,9	1448	-2,85
181	116BSC2897	0,620	4,29	6,4	969	-4,27
182	116BCE0280	0,613	5,14	10,9	655	-3,61
183	116BRS3370	0,613	2,71	2,9	2058	-3,14
184	116BBA0491	0,602	13,57	8,6	1448	-2,66
185	116BSC2890	0,598	3,86	6	1374	-3,39
186	116BRS3295	0,597	10,29	9	691	-3,83
187	116BCE0390	0,596	7,86	9,5	930	-3,27
188	116BCE0250	0,594	3,57	9,4	949	-3,24
189	116BMG1390	0,593	2,29	8,37	704	-3,91
190	116BCE0160	0,589	6,00	11	807	-3,03
191	116BCE0210	0,583	3,00	12,6	403	-3,26
192	116BCE0290	0,583	0,86	8,8	776	-3,55
193	116BCE0070	0,580	1,71	3,8	1689	-3,16
194	116BRJ1590	0,563	1,71	2,7	1063	-4,33
195	116BMG1180	0,561	1,57	3	1316	-3,79
196	116BRS3290	0,556	5,71	8,3	823	-3,28
197	116BCE0380	0,529	3,29	5,7	1209	-2,91
198	116BCE0105	0,518	2,29	3,5	1264	-3,23
199	116BCE0200	0,502	1,14	7,7	366	-3,57
200	116BCE0295	0,499	1,86	4,2	811	-3,62
201	116BSC2920	0,498	3,71	4,5	961	-3,27
202	116BMG1250	0,481	3,29	3	636	-4,01
203	116BCE0150	0,463	7,71	6,4	506	-3,16
204	116BCE0416	0,459	0,14	3,7	893	-3,11
205	116BCE0180	0,445	2,57	4	575	-3,42
206	116BCE0100	0,433	0,29	1,5	1264	-2,69
207	116BCE0350	0,432	2,14	2,5	811	-3,23
208	116BRS3380	0,422	1,00	3,1	535	-3,44
209	116BRJ1625	0,388	2,00	1,5	650	-3,22
210	116BBA0496	0,353	7,29	13,1	590	0,00
211	116BRS3280	0,341	2,57	1,3	1685	-0,87
212	116BCE0095	0,264	2,14	1	1688	0,00
213	116BMG1275	0,216	2,86	1,7	1260	0,00
214	116BMG1280	0,214	1,43	1,2	1317	0,00
215	116BRJ1470	0,213	0,43	2,1	1179	0,00
216	116BRJ1550	0,172	1,14	3,1	755	0,00
217	116BMG1270	0,164	5,14	3,1	702	0,00
218	116BCE0140	0,128	1,43	2,7	506	0,00

Fonte: Elaborado pela autora (2023)