

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

**Rafael Augusto da Silva**

**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**

Porto Alegre

Outubro de 2022

**RAFAEL AUGUSTO DA SILVA**

**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**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Comissão de Graduação do Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal do Rio Grande do  
Sul como parte dos requisitos para obtenção do  
Título de Engenheiro Civil.

**Orientador: Daniel Sergio Presta García**

Porto Alegre  
Outubro de 2022

**RAFAEL AUGUSTO DA SILVA**

**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**

Este Trabalho de Conclusão foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Prof. Daniel Sergio Presta García (UFRGS)**

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Eng. Alessandra Ribeiro da Silva (DAER)**

Esp. pela Pontifícia Católica do Rio Grande do Sul

**Eng. Giovana Fachini (UFRGS)**

Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho ao meu pai  
Adão Augusto da Silva (*in memoriam*).

## **AGRADECIMENTOS**

Às duas mulheres cujo esforço e dedicação permitiram que eu cruzasse a primeira linha de chegada e alcançasse esse momento: minha mãe, Rosângela, e minha irmã, Jéssica. Obrigado por todo apoio e incentivo durante todas as fases da minha educação. Apesar de todas as dificuldades, que juntos enfrentamos, aqui estão os resultados dos seus esforços. Com muita gratidão.

Ao professor Daniel Sergio Presta García, pelas portas que abriu, pelas diversas reuniões com muitas conversas enriquecedoras e entusiasmadas durante todo o período em que fui bolsista no LASTRAN e monitor da disciplina de Rodovias, conversas essas que foram responsáveis por despertar em mim o interesse pela Engenharia de Transportes.

Aos meus amigos, que trago da infância e aos que conheci no decorrer da graduação, em especial Mayara e Samantha. Vocês foram essenciais durante esse longo tempo que passamos juntos, agradeço o companheirismo, acolhimento, motivação e diversão durante todo este período.

Aos colegas e amigos que fiz enquanto estagiário no DAER, pelas oportunidades e pelo aprendizado que culminaram na existência deste trabalho, devido ao Termo de Cooperação Técnica, parceria que visa fomentar o desenvolvimento de estudos técnicos na área rodoviária.

Aos meus ancestrais que muito lutaram para que hoje eu pudesse ocupar o espaço universitário e de alguma forma mostrar a nossa história que apesar de dura é marcada de muita resistência.

Finalmente, à universidade por todo o apoio e oportunidades proporcionadas e pela elevada qualidade do ensino oferecido.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. DIRETRIZES DA PESQUISA.....</b>	<b>11</b>
2.1. TEMA .....	11
2.2. DELIMITAÇÃO .....	11
2.3. OBJETIVOS .....	11
2.3.1. Objetivo principal.....	11
2.3.2. Objetivos secundários.....	11
2.4. DELINEAMENTO .....	12
2.5. JUSTIFICATIVA.....	12
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
3.1. SEGURANÇA VIÁRIA .....	15
3.1.1. Sinalização Viária.....	16
3.1.1.1. Sinalização Horizontal .....	17
3.1.1.2. Sinalização Vertical.....	18
3.2. PAVIMENTAÇÃO.....	19
3.2.1. Estruturas de pavimentos.....	20
3.2.1.1. Argila expandida .....	22
3.3. DRENAGEM .....	23
3.4. FRENAGEM DE CAMINHÕES .....	24
3.5. SINISTRO.....	27
3.6. DISPOSITIVOS DE CONTENÇÃO .....	29
3.7. ANÁLISE AMBIENTAL .....	30
3.7.1. Meio físico.....	31
3.7.2. Meio biótico .....	32
3.7.3. Meio antrópico .....	32

3.8.	RAMPAS DE ESCAPE .....	33
3.8.1.	Quanto a declividade .....	35
3.8.1.1.	Rampas ascendentes .....	35
3.8.1.2.	Rampas com inclinação nula .....	36
3.8.1.3.	Rampas descendentes .....	36
3.8.2.	Quanto à geometria .....	37
3.8.2.1.	Comprimento da caixa de retenção .....	38
3.8.2.2.	Profundidade da caixa de retenção .....	41
3.8.2.3.	Largura da caixa de retenção .....	42
3.8.3.	Quanto à operação .....	43
3.8.4.	Local de instalação .....	45
3.9.	VELOCIDADES .....	48
<b>4.</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>52</b>
<b>5.</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>54</b>
5.1.	LOCAL DE ESTUDO.....	54
5.2.	ÍNDICE DE ACIDENTALIDADE .....	55
5.3.	VERIFICAÇÃO DA GEOMETRIA .....	57
5.4.	VELOCIDADES .....	59
5.5.	LOCAL DE INSTALAÇÃO .....	60
5.6.	DIMENSIONAMENTO DA CAIXA DE RETENÇÃO .....	62
5.6.1.	Comprimento do dispositivo .....	62
5.6.2.	Largura do dispositivo .....	66
5.6.3.	Profundidade do dispositivo .....	66
5.7.	ESTUDOS AMBIENTAIS .....	69
5.8.	CONCLUSÃO .....	70
<b>6.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>72</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>78</b>
	<b>ANEXO B .....</b>	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma .....	12
Figura 2 - Rampa ascentende.....	35
Figura 3 - Rampa horizontal .....	36
Figura 4 - Rampa descendente.....	37
Figura 5 - Área de escape usual .....	38
Figura 6 - Perfil de profundidade.....	42
Figura 7 - Forças atuantes em um veículo .....	50
Figura 8 - Localização .....	54
Figura 9 - Índice de acidentalidade.....	56
Figura 10 - Planta reduzida ERS-431 - km 0 – 7.....	57
Figura 11 - Planta reduzida ERS-431 - km 8 – 14.....	58
Figura 12 - Planta reduzida ERS-431 - km 14 – 21.....	58
Figura 13 - Planta reduzida ERS-431 - km 22.....	59
Figura 14 - Perfil de velocidades .....	60
Figura 15 - Curva km 9+300 .....	61
Figura 16 - Curva de projeto.....	61
Figura 17 - Representação em planta do dispositivo .....	62
Figura 18 - Reprsentação 3D (Vista anterior).....	64
Figura 19 - Representação 3D (vista posterior).....	65
Figura 20 - Encaixe.....	65
Figura 21 - Perfil de profundidade modelo I .....	66
Figura 22 - Perfil de profundidade modelo II.....	67
Figura 23 - Perfil de profundidade modelo III.....	68
Figura 24 - Perfil de profundidade modelo IV .....	68
Figura 25 - Locação e cadastro ambiental .....	69

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Veículos envolvidos em acidentes fatais .....	13
Tabela 2 - Principais contribuintes dos acidentes .....	16
Tabela 3 - Coeficiente de rolamento.....	22
Tabela 4 - Valores médios de desaceleração .....	40
Tabela 5 - Distância entre início do declive <i>versus</i> início do dispositivos.....	46
Tabela 6 - Quadro resumo de dimensionamento .....	87

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

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

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIA - Avaliação de Impacto Ambiental

AID - Área de Influência Direta

ANA - Agência Nacional de Águas

APP - Áreas de Preservação Permanente

BGS - Brita Graduada Simples

CET - Companhia de Engenharia de Tráfego

CNT - Confederação Nacional do Transporte

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito

CRBM - Conselho Rodoviário da Brigada Militar

CTB - Código Brasileiro de Trânsito

CVA - *Commercial Vehicle Alliance*

DAER - Departamento Autônomo de Estradas e Rodagens

DER-SP - Departamento de Estradas e Rodagens - São Paulo

ERS - Rodovia Estadual (Rio Grande do Sul)

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RTA - *Roads and Traffic Authority*

U.K.DfT - *Department for Transport, United Kingdom*

VDM - Volume Diário Médio

## RESUMO

Investir em segurança para salvar vidas é uma ação alinhada às premissas estipuladas pela resolução nº 2/2009 da Organização das Nações Unidas. É de extrema importância que sejam disponibilizadas melhorias e meios adequados para que ocorra uma redução no índice de acidentalidade, de acordo com características geométricas e topográficas da região, sendo assim, um dispositivo a ser instalado é a área de escape. Com base nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo realizar um balanço técnico e ambiental apresentando a eficiência de uma área de escape, analisando procedimentos como definição de critérios, geometria, materiais, operação e conservação. Foi realizado um estudo de viabilidade para implantação do dispositivo, analisando os possíveis locais para a instalação, concatenando informações referentes ao índice de acidentes, velocidades atingidas ao longo do declive, assim como velocidades de tombamento, escorregamento e operacional, classificando as curvas presentes em toda a extensão da rodovia. Durante a análise, verificou-se que o principal problema encontrado no estudo de caso da ERS-431 é a divergência da norma quanto as velocidades ao realizar o projeto executivo, sendo necessária uma correção geométrica. No entanto, pesquisas futuras devem considerar possíveis soluções técnicas de engenharia alternativas e, sempre que possível e necessário, compará-las.

**Palavras-chave:** ERS-431, área de escape, segurança, rodovias, tráfego

## ABSTRACT

Investing in security to save lives is an action aligned with the premises stipulated by United Nations Resolution No. 2/2009. Improvements and adequate means must be made available so that there is a reduction in the accident rate, according to the geometric and topographic characteristics of the region, therefore, a device to be installed is the escape area. Based on this context, this work aimed to conduct a technical and environmental balance by presenting the efficiency of an escape area located on the study case of the ERS-431, analyzing procedures such as the definition of criteria, geometry, materials, operation, and conservation. A feasibility study was conducted to implement the device, analyzing the possible locations for the installation, concatenating information regarding the accident rate, speeds reached along the slope, as well as tipping, slipping, and operational speeds, thus classifying the curves present throughout the extension of the highway. During the analysis, it was found that the main

problem found in the ERS-431 is the divergence of the norm regarding the speeds when carrying out the executive project, requiring a geometric correction. However, future research should consider possible alternative engineering technical solutions and, whenever possible and necessary, compare them.

**Keywords:** ERS-431, escape area, safety, highways, traffic

## 1. INTRODUÇÃO

A acidentalidade no trânsito foi a 10ª causa de óbitos no mundo em 2008 (cerca de 2,1% do total); na faixa etária entre 15 e 29 anos foi a 1ª causa. Em 2030, a previsão é que passará a ocupar a 5ª posição, com 3,6% do total de óbitos. FERRAZ *et al.*, (2012).

Por conta de dados como estes supracitados, a Organização das Nações Unidas (ONU) e Organização Mundial da Saúde (OMS) lançaram, no ano de 2009, a campanha Década De Ação Pela Segurança No Trânsito – 2011-2020 (ONU, 2011), na qual estipulou-se objetivo a ser atingido o índice de redução de 50% de acidentes em 10 anos, por meio de ações eficientes dos governos em todos os níveis e âmbitos de competência governamental (*World Health Organization*, 2016). Já em 2021, o órgão continuou a meta de redução na segunda Década de Ação, na qual o Plano Global descreve as ações necessárias para atingir a meta de reduzir mortes e lesões no trânsito e inclui ações aceleradas para tornar as caminhadas, as bicicletas e o uso do transporte público seguros, já que são meios de transporte mais saudáveis e ecológicos, para garantir vias, veículos e comportamentos seguros; e para garantir atendimento de emergência oportuno e eficaz.

FERRAZ *et al.*, (2012) explicita que uma série de problemas ligados ao projeto geométrico da via pode contribuir para a ocorrência de acidentes. Alguns desses problemas estão relacionados à existência de curva de pequeno raio após longo trecho em tangente e/ou com curvas suaves, trechos com distância de visibilidade de frenagem ou ultrapassagem incompatível com a velocidade usual na via, superelevação e/ou superlargura inadequadas nas curvas, falta de legibilidade, quando o traçado da via não é suficientemente explícito para os usuários.

As áreas de escape rodoviárias são dispositivos utilizados para reduzir acidentes, tendo em vista que promovem dissipação de energia cinética dos veículos fora do controle. Aqueles que devido ao comprometimento no sistema de frenagem não tem ensejo de o conduzir com segurança, em trechos com grandes índices de acidentes fatais com veículos, causado por declives longos e íngremes.

A implantação de áreas de escape, visa reduzir o número de acidentes envolvendo veículos desgovernados, fornecendo ao condutor a possibilidade de frear o veículo de forma

livre e segura. SETRA, 1992 e Witheford, 1999 concordam que a combinação entre veículos de carga e declives íngremes podem potencializar a probabilidade do acidente.

Foi realizado um pré estudo de viabilidade de implantação de área de escape em uma região montanhosa localizada em Bento Gonçalves no Rio Grande do Sul, considerando fatores como topografia local, índice de acidentalidade da região, condições de veículo e de projeto, bem como diretrizes de fundamentação como pavimentação, drenagem e sinalização.

## **2. DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes da pesquisa serão abordadas nos tópicos abaixo.

### **2.1. TEMA**

O tema abordado neste trabalho de conclusão é área de escape em rodovias, suas implicações quanto a técnica executada e seus aspectos ambientais.

### **2.2. DELIMITAÇÃO**

A pesquisa restringe-se em apresentar a eficiência do dispositivo em uma análise técnico-ambiental, desenvolvendo procedimentos como definição de critérios, geometria, materiais, operação e conservação da área de escape.

Os projetos de drenagem, sinalização e pavimentação servirão como fundamentação teórica por se tratar de análises essenciais para a implantação do dispositivo, porém, não foram realizados dimensionamento.

### **2.3. OBJETIVOS**

Os objetivos deste trabalho são avaliar os critérios de projeto para viabilidade de inserção do dispositivo de contenção para curvas horizontais críticas em termos da margem de segurança, bem como avaliar técnicas de aplicação.

#### **2.3.1. Objetivo principal**

O trabalho tem como objetivo principal analisar a viabilidade de implantação do dispositivo em uma rodovia estadual no Rio Grande do Sul.

#### **2.3.2. Objetivos secundários**

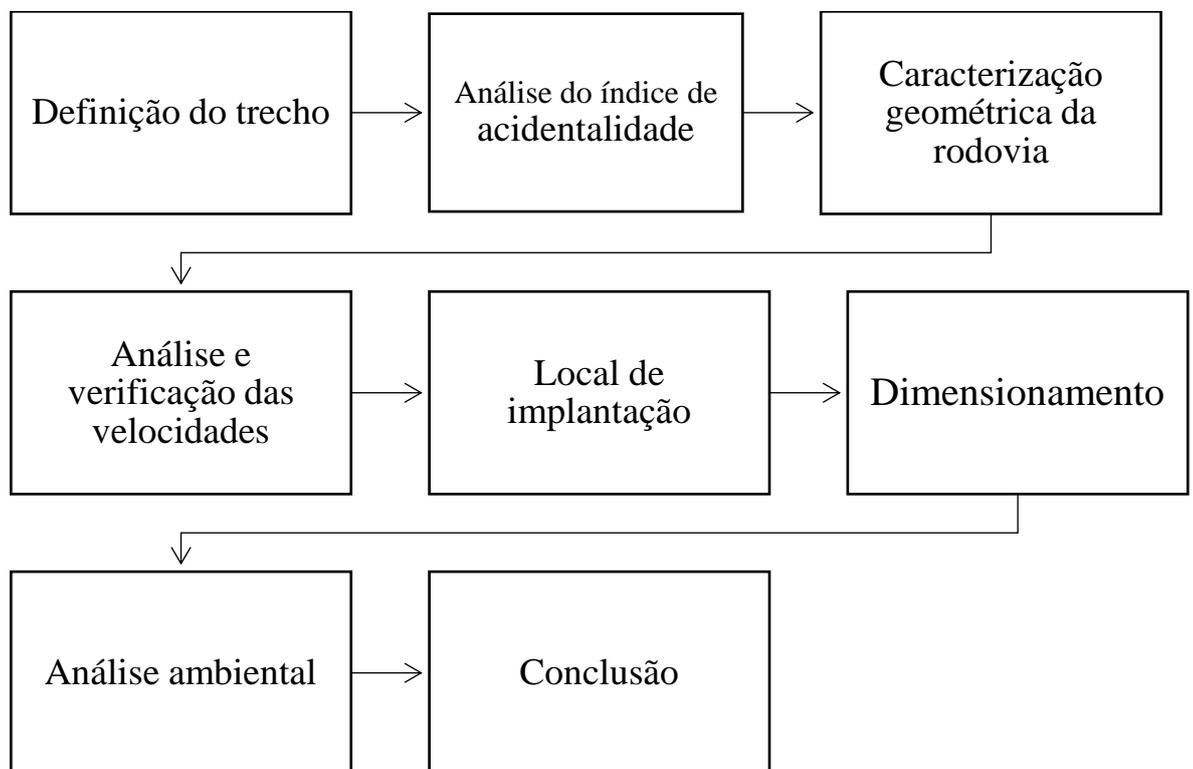
Definiram-se, como objetivos secundários deste trabalho:

- a) Avaliar técnicas aplicadas e utilizadas, em ambiente nacional e internacional, a respeito da implantação das áreas de escape em rodovias, bem como seu dimensionamento;
- b) Após as análises, apresentar um roteiro de cálculo, para uma rodovia que apresente condições semelhantes;

c) Verificar e validar o roteiro de cálculo.

## 2.4. DELINEAMENTO

O presente trabalho foi desenvolvido de acordo com os estágios apresentados no fluxograma da Figura 1 que permite uma melhor visualização das etapas constituintes da pesquisa de forma a proporcionar o entendimento global do trabalho.



**Figura 1 - Fluxograma**

Fonte: elaborado pelo autor

## 2.5. JUSTIFICATIVA

O aspecto a ser destacado, refere-se ao aumento do risco de acidentes envolvendo veículos pesados, o que pode ser agravado em declives. A frota brasileira é composta por mais de 34 milhões de veículos, sendo que mais de 4,7 milhões são veículos de carga. Cerca de 30% dos acidentes rodoviários envolvem veículos pesados, apesar de constituírem menos de um sexto da frota nacional.

Outro fator gerador que justifica a pesquisa é o tráfego de veículos cada vez mais pesados, por diversos motivos, como produtividade, eficiência econômica, aumento da quantidade de produtos transportados por viagem.

Tratando-se do Estado do Rio Grande do Sul, conforme dados obtidos através do Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN/RS), até o final do ano de 2021 havia cerca de 7.200.000 veículos em circulação no estado, sendo que, desse montante, 300.000 são caminhões. Do total de veículos, aproximadamente 2000 veículos envolveram-se em acidentes fatais, sendo que, 16,1% equivalem a caminhões, conforme tabela a seguir:

**Tabela 1 - Veículos envolvidos em acidentes fatais**

<b>Quantidade de veículos</b>	<b>Federal</b>	<b>Estadual</b>	<b>Municipal</b>	<b>Não informado</b>	<b>Total</b>
Automóvel	224	326	241	1	792
Motos	84	155	253	1	493
Caminhão	142	150	67	0	359
Reboque	70	53	13	0	136
Bicicleta	24	18	42	0	84
Ônibus	11	12	18	0	41
Outros	13	28	25	8	74
Tratores	1	4	7	0	12
Carroça	1	2	4	0	7
<i>Total</i>	<i>570</i>	<i>748</i>	<i>670</i>	<i>10</i>	<i>1998</i>

Fonte: Adaptação DETRAN/RS. (2021)

De acordo com Couto (1999), o peso em excesso aumenta a possibilidade de fadiga, provocando defeitos mecânicos, exigindo maiores solicitações nos freios, fazendo com que percam, de pronto, sua eficiência. Em declives, (Elvik *et al.*, 2009) identificaram maior incidência de acidentes, devido problemas de visibilidade e dificuldades dos condutores em realizar paradas, no caso de estarem impulsionados pela rampa, e de aceleração, também devido às forças atuantes no veículo devido ao declive.

Sabendo que áreas de escape são dispositivos de segurança viária com a finalidade de conter veículos desgovernados, em declives ou trechos sinuosos, foram realizadas análises de

possíveis locais para implantação, bem como um estudo de viabilidade econômica para realização e conservação.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

O primeiro assunto desenvolvido nesse capítulo foi a segurança viária, descrita pela sinalização, que tem um grande destaque no trabalho em questão, sendo necessário definir seus principais conceitos. O segundo assunto é a pavimentação, sendo apresentada suas definições e classificações, que são importantes para o desenvolvimento da metodologia, seguido do subcapítulo que será a respeito da drenagem, apresentando os dispositivos responsáveis por impedir e impossibilitar o acúmulo de água superficial e subterrânea. A próxima seção desse capítulo se deu a respeito do sistema de freios, onde foi buscada na literatura estudos que identificam as variáveis que impactam na segurança viária. Seguido do índice e estudos de acidentalidade e sua contribuição quanto às características geométricas da rodovia.

Os dispositivos de contenção foram analisados em casos de ocorrência de trechos íngremes e sinuosos e seus atenuadores de absorção de impacto quanto a colisão. Considerações quanto ao número de acidentes envolvendo veículos fora de controle e como suas ações seriam reduzidas também foram analisadas. Quanto a viabilidade ambiental, foram verificados os meios físico, biótico e antrópico. Finalmente, uma análise das áreas de escape quanto as rampas de gravidade foram realizadas, subdividida quanto a declividade, geometria, operação e local de instalação.

#### 3.1. SEGURANÇA VIÁRIA

O transporte rodoviário é responsável pela movimentação de maior volume de cargas entre todos os modais, ainda assim, a segurança dos condutores desses veículos pesados é posta a risco a cada ponto crítico percorrido. De acordo com Mayora (1999), os chamados “pontos críticos” se definem como aqueles segmentos críticos de rodovias onde ocorre um número de acidentes superior a um limite estabelecido para um determinado período.

Os acidentes de trânsito geralmente são causados pela combinação de diversos fatores. Na perspectiva de Nodari (2003) e Azevedo Raia Jr *et al* (2012), esses fatores podem ser combinados em três grandes categorias que recebem o nome de componentes de acidentes: componente humano, componente veicular e componente viário-ambiental. A tabela 2 apresenta esses contribuintes com mais detalhes.

**Tabela 2 - Principais contribuintes dos acidentes**

CONTRIBUINTE	DESCRIÇÃO	ASPECTOS CHAVES	RISCOS
Condutores	A segurança viária baseia na suposição que os usuários devam respeitar a legislação de trânsito.	Velocidade, condução sóbria, uso do cinto de segurança e outros dispositivos de segurança.	Até mesmo os condutores mais obedientes à lei, os mais experientes e mesmo os mais bem intencionados condutores podem cometer erros. Isto deve ser levado, então, em consideração quando se projeta um sistema de tráfego
Veículos	Sistemas ativos e passivos de segurança incorporados aos veículos nos últimos anos.	Uso dos sistemas, respeito aos limites dos veículos	Muitos acidentes ocorrem em velocidades que tornam impossível ao próprio veículo absorver as enormes forças às quais seus ocupantes estão sujeitos
Vias e entornos	Vias e áreas lindeiras devem ser projetadas para prevenir essas colisões, que provocam ou agravam os anos, de forma que a força de um impacto possa ser absorvida pelo veículo e seus sistemas de proteção.	Engenharia, conservação, área livre com remoção de objetos rígidos do entorno.	Os mais sérios danos físicos ocorrem quando o impacto do veículo é frontal ou lateral, ou quando o veículo colide com objetos rígidos, tais como árvores, postes ou outros objetos localizados no acostamento. Tais colisões resultam, frequentemente, em mortes ou lesões permanentes até mesmo dentro dos limites de velocidade.
Velocidade	Velocidade é um fator que pode ser regulamentado para compensar as negligências de segurança nos ambientes viário e dos veículos	Limites das vias, limites dos veículos, fiscalização	Projetar o sistema para determinados usos, considerando margens de erro no comportamento humano, alpeim de falhas.

Tabela adaptada dos conceitos de Azevedo Raia Jr *et al*, (2012)

### 3.1.1. Sinalização Viária

No âmbito rodoviário, a sinalização consiste, em uma análise simplificada, em um conjunto de sinais destinados a regular o trânsito. Entretanto, ao se aprofundar esse conceito, verifica-se que ele abrange não somente sinais, mas também dispositivos de segurança, colocados na via pública com o objetivo de garantir sua utilização adequada (CTB, 1997).

É natural que as medidas de desempenho da sinalização viária variem conforme o tipo de situação e seu propósito ou função. A sinalização horizontal de linha de bordo da pista, tem a função de delimitar a parte da pista destinada ao deslocamento de veículos e estabelecer seus limites laterais (DENATRAN, 2017), enquanto a sinalização de advertência de altura limitada, alerta o condutor quanto à existência de restrição de altura máxima de passagem do veículo.

A finalidade da sinalização viária está relacionada tanto ao controle e à orientação dos movimentos de trânsito, facilitando assim a condução, possibilitando melhor fluidez e permitindo uma exploração racional da via – quanto à segurança do tráfego e à redução de acidentes. O Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 1997, ANEXO I – DOS CONCEITOS E DEFINIÇÕES), conceitua sinalização como conjunto de sinais de trânsito e dispositivos de segurança colocados na via pública com o objetivo de garantir sua utilização adequada, possibilitando melhor fluidez no trânsito e maior segurança dos veículos e pedestres que nela circulam.

De acordo com o *Manual on Uniform Traffic Control Devices* (MUTCD, 2009), para que a sinalização viária seja efetiva, deve ter cinco requisitos básicos: atender a uma necessidade como chamar atenção, transmitir uma informação clara; regulamentar as informações dos usuários da via, e principalmente dar um tempo adequado para uma resposta apropriada. A sinalização tem o papel de avisar para um evento subsequente, que ainda está por vir. Assim o usuário não precisa tomar a decisão apenas quando vir o perigo.

#### 3.1.1.1. Sinalização Horizontal

A sinalização horizontal se utiliza de linhas, marcações, símbolos e legendas, pintados ou apostos sobre o pavimento das vias. Ela tem como funções organizar os fluxos de veículos e pedestres, controlar e orientar os deslocamentos em situações com problemas de geometria, topografia ou frente a obstáculos, complementar os sinais verticais e, ainda, em casos específicos, tem o poder de regulamentação.

Pelo fato de serem implementados no pavimento, é possível que o condutor possa receber as mensagens e advertências em que o elemento horizontal quer transmitir, facilitando em seu entendimento sem que o condutor desvie o foco da via. (CONTRAN, 2007).

Complementando, o Guia Prático do Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária - BR-LEGAL determina que a sinalização horizontal deve ser adequada de forma a atender critérios que garantam condições mínimas de segurança viária em relação a sua visualização com o veículo em movimento na velocidade praticada no trecho de forma a proporcionar tempo hábil para tomada de decisão do motorista (BRASIL, 2015, p. 23).

Nesse sentido, a sinalização horizontal deve transmitir aos usuários da via, mensagens que possibilitem sua percepção e entendimento, garantindo segurança e ordenamento sem desviar a atenção do sentido e fluxo da via.

Para CONTRAN (2007c), a sinalização horizontal é classificada segundo sua função:

- Ordenar e canalizar o fluxo de veículos;
- Orientar o fluxo de pedestres;
- Orientar os deslocamentos de veículos em função das condições físicas da via, tais como, geometria, topografia e obstáculos;
- Complementar os sinais verticais de regulamentação, advertência ou indicação, visando enfatizar a mensagem que o sinal transmite;
- Regulamentar os casos previstos no Código de Trânsito Brasileiro (CTB).

Ainda, segundo CET (2013, p. 9) tem-se como desvantagens da utilização da sinalização horizontal: a durabilidade limitada do material empregado, quando sujeito a tráfego pesado a não visibilidade por parte do condutor do veículo, quando ocorre carregamento excessivo ou congestionamento da via; e visibilidade prejudicada, quando o pavimento está molhado, nesta situação a película de água que encobre o pavimento, provoca a reflexão da luz natural ou artificial.

Além de permitir o melhor aproveitamento do espaço viário disponível, maximizando seu uso, e aumentar a segurança em condições adversas tais como: neblina, chuva e noite, a sinalização horizontal contribui para a redução de acidentes, pois transmite mensagens aos condutores e pedestres. Em algumas situações a sinalização horizontal atua, por si só, como controladora de fluxos, sendo também empregada como reforço da sinalização vertical, bem como ser complementada com dispositivos auxiliares.

#### 3.1.1.2. Sinalização Vertical

A sinalização permanente, composta por placas, painéis, marcas no pavimento e elementos auxiliares, constitui-se num sistema de dispositivos fixos de controle de tráfego que, por sua simples presença no ambiente operacional de uma via, regulam, advertem e orientam os seus usuários (DNIT, 1999, p. 1).

Em DNIT (2007) define-se que a: “Sinalização vertical de advertência tem por finalidade alertar aos usuários as condições potencialmente perigosas, obstáculos ou restrições existentes na via ou adjacentes a ela, indicando a natureza dessas situações a frente, quer sejam permanentes ou eventuais”.

A interação com os usuários da rodovia é feita de forma visual, e tem como principal objetivo auxiliar na fiscalização do uso correto da via, alertando para possíveis riscos na via, além de fins educativos de informação e respeito às condições da via.

Para a segurança das vias, elas devem possuir distância de visibilidade de comprimento suficiente para permitir aos condutores os espaços e tempos de operação do veículo adequado para e evitar colisões com objetos presentes na trajetória dos veículos sobre a via.

Um traçado em curva vertical pode definir a distância de visibilidade de parada. A *distância mínima de visibilidade necessária para frenagem* ( $D_f$  ou  $SD$ ), pode ser definida como o menor comprimento de uma linha visada do condutor a um objeto na trajetória do veículo, que trafegue à velocidade de projeto da via, e que permite a execução de todas as operações para a parada do veículo antes do objeto. Ou seja, é a distância mínima para que um veículo, trafegando na velocidade de projeto, possa ser operado para parar com segurança antes de atingir um objeto em sua trajetória.

Há uma clara relação entre os impactos da distância de visibilidade para frenagem e a segurança das vias. No entanto, a quantificação e qualificação dessa relação se torna difícil de ser feita, pois para (OLSON *et al.*, 1984; CLEVELAND, 1985) é difícil separar os efeitos atribuíveis à distância de visibilidade dos relacionados a outros componentes da via e manter controle apropriados para os estudos das variáveis que qualificam a segurança.

### **3.2. PAVIMENTAÇÃO**

Pavimento é um sistema com diversos estratos com espessuras limitadas, construídas logo após a finalização da execução da terraplenagem, que possuem a finalidade de suportar as forças provenientes do trânsito sob a via, além de assegurar um tráfego seguro, confortável e econômico BERNUCCI *et al.*, (2007).

Na prática, os usuários de um sistema viário percebem e atribuem maior valor às características funcionais de uma rodovia, principalmente, quanto à condição de rolamento e à

segurança proporcionada pela via. Em relação à segurança, entre as características mais relevantes de um pavimento, encontra-se a aderência que o revestimento fornece ao pneu do veículo durante seu movimento.

### **3.2.1. Estruturas de pavimentos**

O retrato da situação atual das e nas estradas do país, tem mostrado que se justifica o estado nos quais elas se encontram, devido “... ao excesso de peso e aumento do tráfego, elevando os custos de manutenção e conservação das vias, proporcionando ao órgão responsável, dificuldade para manter o mesmo dentro dos padrões de qualidade” (KLAMT *et al.*, 2017, p. 28), sendo, então que, os aumentos dos pesos transportados e o movimento de veículos nas estradas só faz intensificar os estragos ou danos na pavimentação dessas vias.

O pavimento rodoviário classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos, sendo eles rígidos e flexíveis. Quando classificado como flexível, todas as partes constituintes da estrutura do pavimento sofrem com deformação elástica, sendo assim, a carga proveniente do tráfego de veículos será distribuída de forma igualitária entre as camadas. São relacionados à pavimentos asfálticos, compostos basicamente por revestimento asfáltico, base, sub-base, reforço de subleito e subleito

Conforme BERNUCCI *et al.*, (2007) o pavimento rígido, também relacionado a pavimento de concreto de cimento Portland, possuem uma elevada rigidez, conseguindo assim, absorver a maioria dos esforços que são gerados. Sua camada é geralmente estabelecida em função da resistência das camadas inferiores e às flexões nas placas de concreto utilizadas em seu revestimento. A sua composição, geralmente, se dá com placas de concreto, sub-base e subleito.

Esses estratos presentes na composição do pavimento, devem servir de apoio ao trânsito de veículos, tanto no quesito operacional e estrutural, como uma vida útil longa e baixo investimento (BALBO, 2007 *apud* FERNANDES, 2016, p.33).

As propriedades mecânicas do subleito têm uma influência decisiva no desempenho da estrutura do pavimento. No entanto, os estudos realizados para a elaboração de projetos muitas vezes são excessivamente simplistas e não levam em consideração as alterações no

comportamento mecânico que pode ocorrer durante a operação devido a fatores construtivos ou ambientais, como umidade.

O material a ser empregado no reforço do subleito deve apresentar características superiores às especificadas em projeto específico para o subleito, ou seja, pelo fato de estar localizado imediatamente acima do subleito, os esforços oriundos das composições superiores serão amenizados e distribuídos por esse reforço. Senço (2008) devendo satisfazer a condição a qual a granulometria determinada conforme NBR 7181:2016 deve ser compatível com a especificada no projeto de dimensionamento do pavimento e o diâmetro máximo das partículas deve ser de 76 mm. (ARTERIS, 2015).

Balbo e Branco (2007) afirmam que para evitar custos mais elevados com camadas muito espessas de base e sub-bases, se faz uso de camada de reforço do subleito em casos em que o solo do subleito é de baixa capacidade.

A camada de base é responsável por rever e suportar os esforços que são distribuídos, provenientes do tráfego na pista de rolamento, mas em casos em que a força é de grande proporção, resulta-se em camadas de maiores dimensões, sendo assim, recomenda-se a utilização da sub-base e base. (Senço, 2008).

As propriedades dos materiais que serão utilizados nas camadas de pavimento, que podem ser de origem granular, estabilizados quimicamente ou cimentados e asfálticos, devem ser selecionadas, para essa caracterização de qual será o mais adequado para uso, utilizam-se, tradicionalmente, os critérios de seleção do agregado que devem estar de acordo com os ensaios de caracterização do material, ISC, compactação, abrasão Los Angeles e sanidade, então para Bernucci *et al.*, (2007) a camada em que se está projetando, o material a ser escolhido, deve ser pouco deformável além de possuir permeabilidade de acordo.

Sendo o revestimento a camada que atua diretamente com os esforços e ações provenientes do tráfego de veículos e estando em contato direto com intempéries climáticas, essa camada deve ter características impermeáveis, além de possuir resistência o suficiente para suportar as cargas diretas dos veículos, que podem se alterar, de acordo com a velocidade e demais fatores.

### 3.2.1.1. Argila expandida

A cinasita, conhecida também como argila expandida, é o produto obtido por aquecimento de argila natural na temperatura em torno de 1200 °C. Próximo desta temperatura, uma parte do material que constitui a argila se funde gerando uma massa viscosa, enquanto a outra parte se decompõe liberando gases que são incorporados por esta massa sintetizada, expandindo-a em até sete vezes o seu volume inicial. MORAVIA *et al.*, (2006); NEVILLE, 1997 *apud* SCHWANTES, 2012, p.38.

MORAVIA e Rodrigues (2018) verificaram que essa estrutura porosa se mantém após o resfriamento, de modo que a massa unitária do material resultante se torna menor do que antes do aquecimento, fazendo com que o material adquira algumas propriedades específicas, sendo elas:

- Os materiais originados a partir do agregado de argila são leves, em diversos casos, dependendo da especificação do material utilizado, apresentam massa específica menor que a da água;
- De acordo com o processo de formação que será utilizado para obtenção da argila expandida, o material resultante é inerte e livre de impurezas, não sendo prejudicial à saúde humana;
- Resistência ao fogo: as argilas expandidas são incombustíveis, o que permite serem utilizadas como isolantes ao fogo (Cinexpan, 2018).

Abaixo, conforme tabela 3, seguem valores de coeficiente de resistência de rolamento de alguns materiais analisados por Witheford (1992).

**Tabela 3 - Coeficiente de rolamento**

<b>Material da Superfície</b>	<b>R</b>
Concreto de cimento Portland	0,010
Concreto asfáltico	0,012
Cascalho compactado	0,015
Terra, arenosa e solta	0,037
Pedra brita solta	0,050
Cascalho solto	0,100

Areia	0,150
Cascalho arredondado	0,250

Fonte: Witheford (1992)

Partículas irregulares ou de forma angular tais como pedra britada, cascalhos e algumas areias de brita tendem a apresentar melhor intertravamento entre os grãos compactados, tanto maior quanto mais cúbicas forem as partículas e mais afiladas forem suas arestas. (Bernucci, 1992). A argila expandida se assemelha ao cascalho arredondado quanto suas características de intertravamento de resistência, o equivalente às maiores classes granulométricas de argila expandida.

### 3.3. DRENAGEM

Segundo Jabôr (2020), drenagem é o estudo que tem como função principal impedir e impossibilitar tecnicamente o acúmulo de água tanto superficial quanto profunda, utilizando elementos apropriados, de modo a assegurar as características em que o corpo estradal foi designado, assim como garantir a proteção de todos os condutores que utilizarem a rodovia.

O pavimento é exposto a ação da água de diversas maneiras. A água pode infiltrar pelas laterais da estrutura do pavimento, quando são empregadas camadas granulares, ou quando os dispositivos empregados para drenagem subsuperficial e superficial são inadequados. No entanto, para Azevedo (2007), há a possibilidade de ocorrer infiltração entre as juntas e trincas do revestimento ou pelos bordos, que surgem na superfície e próximas ao acostamento.

Em casos de elevação do lençol freático, essa água acumulada pode alçar devido à percolação, ou também, pelos bordos da estrutura e valetas contidas no acostamento. Suzuki e Júnior (2013) descrevem que outro fator que determinante para essa elevada concentração de água na parte inferior da estrutura do pavimento são os deslocamentos dos vapores de água, que estão diretamente associados às alterações e fatores climáticos.

A drenagem superficial em uma rodovia visa impedir que as águas provenientes de precipitações, após serem consideradas as reduções vindas de infiltração e evaporação, consiga alcançar a via, através de descidas de encostas e taludes ou a transcorrendo. Deve-se considerar a precipitação que incide diretamente na camada superior da pista de rolamento, sendo assim, são aplicadas ações como uso de inclinações apropriadas para a seção transversal e o emprego

de pavimentos com seu revestimento altamente impermeável, de modo a impedir a ocorrência de infiltrações e acumulação.

O controle adequado das águas que infiltram na estrutura do pavimento é considerado fundamental para o bom desempenho deste, sendo a drenagem subsuperficial responsável por esse controle. (MOULTON, 1990 *apud* PEREIRA, 2003). Tendo como principal objetivo o amparo ao pavimento contra as intempéries que possam danificá-lo, Oliveira (1982) concluiu que: “A aplicação dos conceitos de drenagem subsuperficial aos pavimentos é, sem dúvida, a solução técnica e econômica tanto para os pavimentos novos como para os existentes.”.

As camadas que constituem os sistemas de drenagem subsuperficiais são constituídos, basicamente, de camada drenante, que podem acompanhar camadas de bloqueio, e de drenos longitudinais de borda, sendo eles munidos ou não de tubulações que facilitam o escoamento da água.

Segundo Morales (2003), a principal função da drenagem profunda é a proteção da estrutura do pavimento das águas provenientes da precipitação, onde uma parcela percorre pela estrutura do pavimento e outra por infiltração, gerando lençóis subterrâneos. Para Porto (1992), existem algumas formas nas quais as águas podem vir a atingir o pavimento e o subleito da rodovia.

Em casos de infiltração lateral, geralmente o terreno está em um terreno acidentado, onde existe uma superfície impermeável e a camada da estrutura de projeto localiza-se sobrepondo-a, fazendo com que a água escoe de forma ascendente até o pavimento a partir da mesma.

Visando a eliminação da água que atinge o pavimento e um aumento da sua vida útil, recomenda-se a utilização de um projeto de drenagem adequado. Para a implantação desse projeto, deve-se realizar uma severa compreensão topográfica, executar sondagens do terreno, a fim de analisar as condições de umidade onde o solo se encontra exposto, e por fim, um bom entendimento acerca das condições pluviométricas da região de estudo.

### **3.4. FRENAGEM DE CAMINHÕES**

Para Fernandes (1994), o objetivo do sistema de frenagem de um veículo é proporcionar ao motorista uma ação de desaceleração segura, reduzindo ou não a velocidade a zero, conforme

as condições de tráfego o requerem e obedecendo aos requisitos pelo fabricante e pela legislação vigente.

A frenagem dos veículos pode ser efetuada a partir de várias velocidades e outras condições iniciais, o que influencia em inúmeras condições operacionais durante o processo. Em algumas ocasiões, a ocorrência de acidentes está atrelada ao comportamento dos freios. LIMPERT (1992), mostra em seus estudos que, nos Estados Unidos, para uma parcela dos acidentes que ocorrem devido ao mau funcionamento do sistema de frenagem, a maioria ocorre por falta de manutenção, conserto e desbalanceamento dos esforços entre as rodas direita e esquerda.

A confiança dos freios é a probabilidade que um componente do sistema não irá falhar em um determinado tempo. Essas falhas que ocorrem cedo são devidas a defeitos de manutenção enquanto as falhas a longo prazo, sendo as tardias, são causadas pelo uso e envelhecimento. Em contrapartida existe um terceiro grupo de falhas, as que ocorrem sem tempo determinado, são essas as causadas por impacto, reparos impróprios e má utilização.

Para Canale (1989), a temperatura máxima suportada pelo sistema de freio constitui um fator determinante no desempenho de frenagem. Para o estudo dos efeitos da temperatura no processo de frenagem são considerados duas condições operacionais, sendo as frenagens de longa e curta duração. A frenagem de longa duração ocorre quando o veículo está descendo uma extensa rampa, onde todo o calor gerado será dissipado para o ambiente externo, mantendo a temperatura do sistema abaixo da máxima suportada pelos materiais que se atritam.

Para a frenagem severa, de pequena duração, sendo de emergência, a totalidade da energia é convertida em calor, na qual é armazenada na capacidade térmica do sistema. Devido ao rápido acionamento, é provocada pouca emissão de calor com o ambiente e alta absorção da energia no freio, em ambas as condições operacionais, o aquecimento dos freios é inevitável.

Os tipos de freios mais comuns em veículos rodoviários de transportes de passageiros e cargas podem ser freios a tambor ou freios a disco. De acordo com GILLESPIE (1992), os freios a tambor normalmente são mais utilizados devido a seu alto fator de freio, por outro lado, esse sistema é mais sensível as características direcionais que o freio a disco. Os freios a disco possuem um fator de freio menor, necessitando de um maior esforço de atuação.

O fator de freio é a razão entre a força de frenagem produzida no contato entre lonas e tambor e a força aplicada para comprimir as lonas contra o tambor, sendo uma relação inversamente proporcional, ou seja, quanto maior essa relação, há um menor esforço de aplicação das lonas contra o tambor (Fernandes, 1992).

Os freios a tambor são utilizados normalmente nas rodas traseiras dos veículos, raramente utilizados nas rodas dianteiras, com seu uso predominante em veículos médios e pesados. A utilização desse formato de freios nos caminhões é justificada pelo fato de exigir menor esforço de aplicação nas lonas contra o tambor.

Esse tipo de freio é sensível à temperatura, ou seja, quando atingidos valores entre 400°C e 530°C, os freios podem apresentar perda de eficiência no seu ofício de frenagem, afetando os coeficientes de atrito e aumentando o diâmetro do tambor que reduziria o contato entre a lona e o tambor.

Os freios a disco são constituídos de um disco solidário ao eixo da roda e por pastilhas que são instaladas em uma pinça acoplada aos chassis, e seu processo de frenagem se dá pela aplicação diametral das pastilhas na superfície lateral do disco. Podem ser compostos por uma ou duas pastilhas, mas o mais comum são os compostos por duas, pois segundo Fernandes, (1994) proporcionam maior área de atrito e uma geração de calor mais equilibrada no disco. Os freios a disco possuem uma maior área de ventilação e uma de atrito relativamente pequena, que é igual a área da superfície da pastilha (Oliveira, 2002).

Com o uso deste freio, os discos são os responsáveis por parar as rodas, após sofrerem a pressão das pastilhas que os comprimem. Ainda há muitos caminhões que utilizam esse sistema, mas é preciso cuidado, pois ele permite as paradas bruscas que ocasionam derrapagem.

A principal vantagem do sistema de freios a disco, é a capacidade de operar com pouco *fade* a altas temperaturas, cerca de 800 a 900°C, sendo o *fade* ou fadiga, o termo utilizado para designar a relação de perda de atrito da lona ou pastilha, provocada pelo calor gerado entre as frenagens.

A eficiência neste caso, se perderá gradativamente quando o ponto de *fade* for atingido, que faz com que o condutor pressione com mais intensidade o pedal para acioná-lo. O *fade*

gradual passa a ser um mecanismo de alerta e segurança para os condutores, pois permite que exerça um controle adequado sobre o veículo (COBREQ, 2002).

### 3.5. SINISTRO

Em sua definição, acidente de trânsito, é ocasionado por algum agente externo, fora do alcance do usuário, ocorrendo de forma inesperada e gerando prejuízos, tanto físicos como mentais. Para Gold (1998), é considerado acidente de trânsito quando há ao menos um ou mais veículos envolvidos, sendo motorizado ou não. Sinistro é um acidente que causa danos e/ou prejuízos a um bem segurado e, por isso, o termo está presente na apólice do seguro. Não importa a forma do acontecimento, se de maneira súbita, involuntária ou imprevista. Todos os danos causados pelas situações cobertas na apólice são indenizados ao contratante.

Na língua inglesa o termo *accident* é pouco utilizado, pois pode ser interpretado como algo inevitável, imprevisível ou que não pode ser prevenido. Já no Brasil, o termo *acidente de trânsito* é usado com o sentido de um evento que pode ser previsto e, portanto, evitado (Souza, et al., 2007). Os termos *crash* e *collision* são utilizados por não transmitirem essa conotação. No entanto, a tradução desses termos torna-se inadequada para o uso no Brasil, visto que *collision* (colisão) define um tipo específico de acidente, enquanto *crash* (impacto) define um momento do acidente.

Segundo Zanolli (2003), na ocorrência de acidentes rodoviários envolvendo caminhões, as perdas materiais são relativamente superiores quando comparado aos acidentes envolvendo veículos de passeio, mesmo estes possuindo uma maior frota de veículos.

A velocidade incompatível aparece como fator contribuinte em vários acidentes. No entanto outros fatores como características geométricas desfavoráveis, passíveis de correção, podem ser foco de intervenção e a correção dessas características da via resultaria em redução de acidentes mesmo sem a redução na velocidade por parte dos usuários.

Do ponto de vista prático o conhecimento da causa de falha é muito importante. Por esta razão, verificar separadamente o escorregamento e o tombamento torna-se imprescindível. Apesar de, matematicamente, a margem de segurança simultânea indicar a ocorrência de falha, a causa do acidente pode ser recuperada por meio do valor mínimo que determinou a condição de falha (Ejzenberg, 2009).

De forma geral, os acidentes rodoviários ocorrem devido à combinação de diversos fatores, que, na grande maioria das vezes, podem se enquadrar em um dos seguintes componentes casuais, ou contribuintes, para o acidente, são eles: componente humano, componente veicular e componente viário.

De acordo com Gold (1998), os acidentes originados a partir de razões relativas aos veículos, são todos os defeitos mecânicos que possam vir a interferir na condução e perícia do motorista, podendo ser problemas causados a partir do desgaste dos pneus, ajustes e defeitos de frenagem, adversidades na direção do veículo e demais fatores mecânicos que estão fora do alcance e controle do condutor. Já pelo aspecto viário, são todos os elementos que estão relacionados ao projeto da rodovia, tanto geométrico e de sinalização, podendo ser superelevação inapropriada em curvas, rampas ou estrutura do pavimento inadequada, falta de manutenção em sinalizações, entre outros.

As condições geométricas das rodovias devem ser analisadas, considerando-se que tamanho e peso dos veículos de carga influenciam na operação de tráfego. As medidas geométricas das vias que devem ser selecionadas são os aclives acentuados, tipo de área, interseções e curvas verticais.

Dados do CNT (2018) apontam que o Brasil registra 14 mortes por dia nas rodovias federais. A cada ano, são mais de 50 mil acidentes com vítimas, muitos deles com o envolvimento de caminhões. As estatísticas mostram que esses veículos pesados não estão presentes na maioria das ocorrências. Mais de 60% dos acidentes têm o envolvimento de carros de passeio. Em mais de 40%, há motocicletas; e em torno de 20%, há caminhões. Ainda assim, sabemos que uma ocorrência envolvendo caminhão traz maior risco devido às características e ao porte desse tipo de veículo.

Segundo estudos realizados por SETRA (1993 *apud* Zanoli, 2003), em ocorrência de declives acima de 2% no projeto rodoviário, a probabilidade de acidentes envolvendo veículos pesados aumenta cinco vezes quando comparado a uma via totalmente plana. Dentre os principais motivos que colaboram para o aumento desse índice são as sinalizações indevidamente executadas de acordo com o trecho, o peso bruto total do veículo que pode prejudicar os componentes mecânicos devido a essa carga, e por fim, a má utilização do freio motor por parte do condutor do veículo. Sendo assim, deve-se adotar medidas de contenção

adequadas para minimizar esse elevado índice de acidentalidade por parte dos veículos de cargas pesadas.

Os veículos de carga quando frenados não têm eficiência suficiente para parada total com segurança antes de algum obstáculo, se o sistema de freios não for regulado periodicamente. Em acidentes envolvendo veículos de carga, é usual encontrar os freios dianteiros descalibrados, e devido a isso, o *Commercial Vehicle Alliance* (CVA) dos Estados Unidos, monitora um programa de inspeção nacional onde é checada a calibragem dos freios dos veículos de carga e o número de horas de serviço dos motoristas envolvidos em acidentes, que são consideradas as duas causas principais dos acidentes envolvendo caminhões (LILL, 1986).

### **3.6. DISPOSITIVOS DE CONTENÇÃO**

Dispositivos de contenção para veículos desgovernados são um método eficiente para controlá-los, através da transferência de energia cinética ou da resistência a partir do rolamento. Um termo usualmente utilizado na literatura técnica acerca da segurança viária do entorno das vias é *forgiving roadside*, que poderia ser traduzido por “entorno tolerante”. A ABNT, através da NBR 15486:2007, relativa à expressão rodovia que perdoa, associando ao mesmo conceito.

Entorno tolerante também é mencionado no *Geometric Design Guide for Canadian Roads* (TAC, 1999) como sendo aquele que incorpora elementos projetados que reduzem as consequências das saídas de pista de um veículo desgovernado.

O conceito *Rodovias que perdoam* possui como objetivo impedir ou reduzir os acidentes originados a partir do meio humano, a partir de readequações ou a implantação do conceito em novos projetos de rodovias. Um dos dispositivos utilizados e que atendem a esse conceito são as áreas de escape em rodovias.

Em casos de rodovias onde há predominância de trechos íngremes e sinuosos, uma indicação é que seja realizada a implantação de uma área de escape. Esse dispositivo irá auxiliar o usuário que possa vir a apresentar problemas de superaquecimento do sistema de freios ou falhas mecânicas no veículo, onde o condutor não tenha nenhuma maneira de parar, tornando-o desgovernado, realizando uma desaceleração segura e que não prejudique o fluxo natural da rodovia (TRITSCH, 1987).

Conforme o DER-SP (2005), atenuadores de impacto são dispositivos de proteção para veículos desgovernados, capazes de absorver o impacto mais lentamente do que em casos de colisão com objeto rígido, fazendo com que as consequências dos acidentes sejam minimizadas. O U.K.DfT (2006) define esses atenuadores de impacto como dispositivos que absorvem a energia a uma taxa controlada, prevenindo veículos desgovernados do impacto com objetos físicos e rígidos e estruturas adjacentes à via, reduzindo assim, a potencial gravidade para o condutor e ocupantes do veículo.

O número de acidentes envolvendo veículos fora de controle pode ser reduzido com ações que reforcem o uso adequado do sistema de freios, sinalização eficiente, educação e treinamento dos motoristas. As consequências desse tipo de acidente também podem ser minimizadas, por meio da implantação de dispositivos para contenção de veículos desgovernados em trechos com longos declives, adequados às características da rodovia.

### **3.7. ANÁLISE AMBIENTAL**

As obras rodoviárias geram numerosos impactos ambientais e sendo desconsideradas as falhas na gestão ambiental destes projetos, desde a pequena dimensão dada aos aspectos ambientais ainda na fase de planejamento da obra, perpassando por falhas nos estudos ambientais, dificuldades na previsão dos impactos e dimensionamento das medidas preventivas e mitigadoras, pelas rotinas controversas dos processos de licenciamento até o acompanhamento ambiental deficiente.

Os Estudos de Meio Ambiente devem ser o resultado da coleta de dados e criteriosa vistoria ambiental na área de influência do empreendimento de modo a identificar e delimitar fatos que possam imputar restrições ao empreendimento do ponto de vista ambiental ou resultarem em elevação dos custos de implantação por imposição destes fatores (DAER, 2013).

Bandeiro e Floriano (2004) concordam que a avaliação de impacto ambiental nas rodovias deve incluir todas as fases, mas no Brasil ainda é incipiente na de operação, sendo pouco ou nada exigido pela legislação nesta fase. Com a busca incessante por desenvolvimento e por uma infraestrutura capaz de atender a todos os aspectos sociais e econômicos, surge a dicotomia, no cenário que abrange os aspectos ambientais e seus impactos, sobretudo no desenvolvimento sustentável, aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer

as possibilidades de as gerações futuras atenderem as suas próprias (BENSEN e HENKS, 2012, *apud* BEZERRA; MUNHOZ, 2000).

O diagnóstico ambiental da área de influência direta e indireta do empreendimento deverá ser caracterizado quanto aos meios:

- físico (geológico, hidrológico e edáfico);
- biótico (flora e fauna), incluindo áreas protegidas por lei e unidades de conservação;
- antrópico (social e econômico), incluindo sítios histórico-culturais.

### **3.7.1. Meio físico**

O desmatamento de solos provoca a indução de processos erosivos/voçorocas em antigas áreas exploradas e em taludes, deixando-os instáveis ou até inservíveis, bem como o rompimento de fundações, empréstimos e disposição inadequada dos materiais de bota-foras, operação e degradação de áreas de canteiro de obras, além de trilhas e caminhos de serviço abandonados (COELHO, 2010).

O incremento das atividades minerárias, o tráfego de máquinas e veículos, e o aumento do tráfego local pela intensa atividade das obras, causarão alterações nos níveis de emissões de gases poluentes no ar e de ruídos, colocando em risco também a qualidade da água superficial e subterrânea. As escavações e os cortes previstos ao longo do trecho da rodovia em construção constituem locais favoráveis à instalação de processos erosivos, pela remoção da cobertura vegetal, exposição de horizontes mais frágeis do perfil de solo e aumento na declividade dos terrenos, devido à inclinação mais acentuada dos taludes de corte, o que proporciona um aumento na velocidade e capacidade erosiva das águas de escoamento superficial.

As emissões de material particulado, fumaça e gases são frequentes em obras de terraplenagem, atividades dentro do canteiro de obras, transporte de material terroso por caminhões, e lançamento de BGS na fase de construção do pavimento, sendo também desvantajosas ambientalmente. Como medida mitigatória devem ser adotadas para todo o trecho de obra as condições de controle especificadas no canteiro de obras, tais como aspersão de água nos desvios quando não pavimentados, pontos de obras de terraplenagem e lançamentos de BGS, manutenção das condições mecânicas das máquinas e equipamentos para diminuir as

emissões, e recobrimento com lona do material seco durante o transporte por caminhões (Akashi, 2011).

### **3.7.2. Meio biótico**

Com a necessidade de instalar e operar canteiros de obra, caminhos de serviço, usinas de mistura asfáltica, jazidas de brita e areia e regiões de bota-fora, podem ocorrer também alterações nos ecossistemas locais.

Os principais impactos ambientais relacionados ao meio biótico que poderão ocorrer no ambiente da obra da rodovia são: supressão de vegetação, eliminação de ambientes naturais, aumento no risco de acidentes com a fauna e da caça furtiva, e que serão descritos a seguir e apresentadas soluções para que sejam evitados.

Também se referem às apropriações de Áreas de Preservação Permanentes (APP), estabelecidas pela Resolução CONAMA 303/02, vinculadas às atividades de terraplenagem, implantação de sistema de drenagem e construção de ponte. Por definição, as APPs são consideradas, seja pela sua localização ou quando declaradas pelo poder público, áreas protegidas por força de lei estando elas cobertas ou não por vegetação nativa. Essas áreas, por sua vez, são dotadas pela função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo genético de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações (BRASIL, 2012).

Além das APPs o meio biótico é caracterizado abrangendo uma área referente a faixa de domínio do empreendimento, devendo constar o levantamento florístico, quantificação da vegetação a ser suprimida e caracterização da fauna regional.

### **3.7.3. Meio antrópico**

A presença de veículos, máquinas e equipamentos afeta da mesma forma o meio antrópico, expondo a população local e os operários da obra à poeira e aos ruídos. A falta de dispositivos para recepção de efluentes, de controle na disposição do lixo e de higiene, e ainda a limpeza ineficaz do terreno, poderão causar o aparecimento de doenças e proliferação de vetores indesejáveis.

Deve-se realizar a caracterização socioeconômica das principais comunidades atingidas pela execução das obras. O levantamento do passivo e ativo ambientais deverá contemplar os

impactos sobre os meios físico, biótico e antrópico, nas áreas de influência da rodovia, ocorridos em função de obras já existentes ou executadas anteriormente.

Segue algumas caracterizações do meio antrópico em infraestrutura de rodoviária:

- **Interferência no Fluxo de Veículos e Pedestres e Modificação da Malha Viária:** a intensificação do tráfego de veículos representa um impacto adverso e temporário que pode prejudicar a qualidade de vida dos usuários das rodovias e estradas vicinais próximas ao empreendimento.
- **Redução de Áreas Produtivas:** a instalação do empreendimento causará uma redução nas áreas produtivas para a agropecuária. Esse impacto ocorrerá na AID do empreendimento.
- **Alteração de Sítios Arqueológicos:** poderá haver impactos ao patrimônio cultural, histórico e arqueológico, associados às atividades necessárias para a implantação da Rodovia, especialmente naquelas que interferem na topografia e na estrutura do solo.
- **Ocorrência de Acidentes:** a circulação de veículos e de maquinário necessário à implantação do empreendimento poderá causar acidentes e atropelamentos, envolvendo os trabalhadores da obra e a população residente na AID. As atividades de limpeza da vegetação marginal às rodovias e a instalação de acampamentos podem expor os funcionários das obras ao encontro com animais peçonhentos, o que poderá acarretar acidentes.

### **3.8. RAMPAS DE ESCAPE**

Em sua percepção, a AASHTO (1994) define rampas de escape como dispositivos conhecidos como áreas ou rampas de escape são classificadas como rampas de gravidade, que são saídas pavimentadas ou não, geralmente de material compactado, construídas em um local conveniente, com uma rampa íngreme, nas quais os veículos desgovernados reduzem sua velocidade pelo efeito da resistência de rampa e uma pequena parcela de resistência de rolamento.

Possui como principal função fazer com que os veículos desgovernados, ao entrar em contato com a rampa e a partir dela, percam velocidade e desacelerem a partir das forças

gravitacionais ao subir a rampa e resistência imposta pela pista de rolamento, que não possui grande contribuição no processo. A rampa serve de apoio à parada dos veículos durante a sua subida, porém, caso o veículo apresente falhas no funcionamento do sistema de frenagem, não será possível impedir que ocorra um deslocamento de descida dos veículos, podendo em alguns casos retornar para a rodovia.

Witthford *et al.*, 1992 apresenta que as primeiras áreas de escape com rampas de gravidade foram inicialmente construídas nos EUA, por apresentar facilidades na instalação além de serem menos onerosas na construção. Com o decorrer dos anos foram sendo substituídas por outros tipos áreas de escape, principalmente por dispositivos mais seguros, como os que usam superfície de material solto ao invés de compacto, facilitando a penetração dos pneus do veículo desgovernado evitando que os veículos totalmente sem freios retomem à via.

Já as rampas com montes de areia são também uma área de saída para os veículos desgovernados compostos por montes de areia, que devem estar, neste caso, com os grãos soltos e secos, servindo de auxílio na desaceleração do veículo ao entrar em contato com a área. Pelo fato da areia fornecer uma alta resistência ao rolamento, os pneus se aprofundam de uma forma rápida, fazendo com que haja uma desaceleração de forma brusca, prejudicando a segurança e frenagem de forma suave por parte do condutor. Zanoli (2003) através de suas análises implica que esse dispositivo não necessita de uma área muito grande para sua implantação, fazendo com que em locais que haja pouco espaço seja aconselhável a sua utilização.

Nesse tipo de dispositivo, o alto valor da resistência de rolamento provoca uma alta intensidade de desaceleração, o que reduz a segurança de frenagem. As altas desacelerações representam riscos aos ocupantes do veículo desgovernado, embora proporcione um menor comprimento para frear os veículos. Neste caso, os montes de areia podem representar uma alternativa em locais onde existe a necessidade de implantação de dispositivo para contenção, mas com pouco espaço físico disponível.

Um inconveniente desse tipo de dispositivo é a necessidade de um método de extração dos veículos, sendo atualmente realizada por pórticos rolantes, além de um sistema de drenagem eficiente, capaz de coletar águas pluviais e outras substâncias como combustíveis, óleos e cargas líquidas dos caminhões.

Uma vantagem das áreas de escape baseadas na resistência de rampa de rolamento, de acordo com estudos apresentados por Jones (1982) *apud* Zanoli (2003) é que, teoricamente, a desaceleração a que os veículos são submetidos é independente da massa do veículo e, portanto, os veículos pesados e leves percorrem a mesma distância até parar, por estarem sujeitos à mesma desaceleração. Outra vantagem desses dispositivos é que eles requerem pouca manutenção, não mais que uma recomposição da superfície do material na caixa após o uso do dispositivo e afofamento periódico para evitar a compactação do material de enchimento.

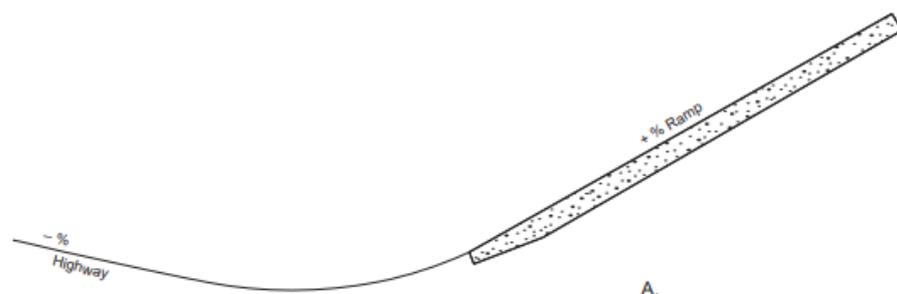
### 3.8.1. Quanto a declividade

A caixa, como já visto, pode apresentar diferentes declividades, adaptando-se às condições topográficas da via em que será implantada. De acordo com a declividade da caixa de retenção, as áreas de escape recebem as seguintes denominações:

#### 3.8.1.1. Rampas ascendentes

Além das forças provenientes do agregado, superfície de rolamento utilizado na caixa, esse método apresenta com o complemento da força da gravidade da rampa, pois ela estará em sentido oposto ao fluxo, conforme Figura 2. A força proveniente do material solto presente na caixa de retenção aumenta a resistência ao rolamento, já a gravitacional irá colaborar com uma reação no sentido contrário do veículo.

Essa atuação simultânea de duas forças no veículo fará com que a contenção ocorra de uma forma mais rápida, sendo assim, não é necessário um grande comprimento de caixa de retenção. As áreas de escape ascendentes são as mais utilizadas, por apresentar a vantagem de frear os veículos em menores comprimentos (ITE, 1989).



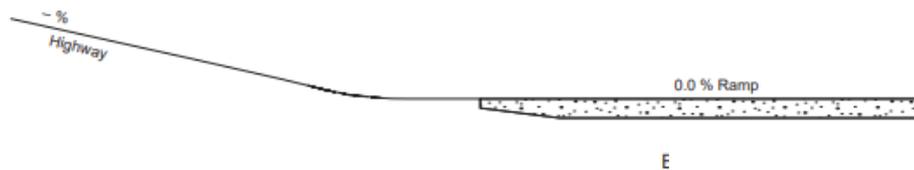
**Figura 2 - Rampa ascentende**

Fonte: AASHTO (2001, p. 263)

### 3.8.1.2. Rampas com inclinação nula

Geralmente, esse modelo de rampa requer um maior comprimento para frear os veículos desgovernados. Diferentemente da caixa com rampa ascendente, a rampa horizontal é construída onde a topografia do local é plana, conforme Figura 3.

Nesse caso, a única força que irá atuar na desaceleração dos veículos será a proveniente do rolamento, a partir do material solto que estará no interior da caixa, já que aqui a força de gravidade será praticamente inexistente, por se tratar de um trecho horizontal.



**Figura 3 - Rampa horizontal**

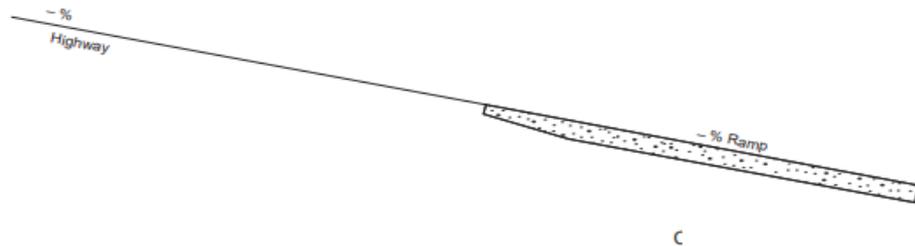
Fonte: AASHTO (2001, p. 263)

### 3.8.1.3. Rampas descendentes

A resistência atua na direção do movimento do veículo. Como resultado, as rampas de descida podem ser bastante longas pois o efeito gravitacional não está agindo para ajudar a reduzir a velocidade do veículo, conforme mostrado na Figura 4.

A rampa deve ter um caminho de retorno claro e óbvio para a rodovia para que os motoristas que duvidem da eficácia da rampa possam retornar à rodovia em velocidade reduzida. A soma vetorial entre as forças é responsável pela intensidade da desaceleração que tende a ser menor que nos casos anteriores, o que resulta em comprimentos maiores para frear o veículo.

As forças de resistência ao rolamento contribuem pouco para ajudar a parar o veículo. Cada um dos tipos de áreas de escape é aplicado para uma situação em particular, adaptando-se as características topográficas do local onde será construído.



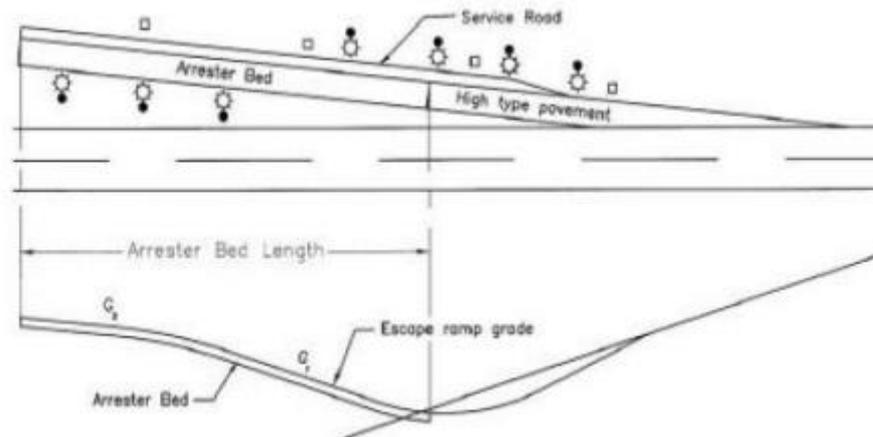
**Figura 4 - Rampa descendente**

Fonte: AASHTO (2001, p. 263)

### 3.8.2. Quanto à geometria

Para que o veículo que está descontrolado tenha uma contenção segura, a caixa de retenção deve ter um comprimento capaz de fazer com que toda energia cinética resultante do veículo em movimento seja dissipada ao adentrar o dispositivo. Alguns fatores como velocidade com que o veículo vai acessar o dispositivo, resistência ao rolamento do material de preenchimento, inclinação da rampa e a desaceleração são consideradas para o cálculo do comprimento adequado.

O acesso à caixa deve ser tangente ou com uma suave curvatura em relação ao alinhamento da via, para minimizar os problemas com a falta de controle do veículo. Além disso, deve ser visível para permitir ao motorista um tempo de reação suficiente para analisar as possibilidades de utilizar ou não a área de escape. Witheford *et al.*, (1992) alerta que par caso de rodovias com várias faixas de rolamento, recomenda-se que o acesso até caixa de retenção seja composto por uma faixa auxiliar, *taper*, pavimentada com comprimento mínimo de 300 metros. Já HON A YEE BAsC, (1994) recomenda que o ângulo entre a rodovia e pista utilizada para a construção da área de escape seja de 3° a 5°.



**Figura 5 - Área de escape usual**

Fonte: AASHTO (2001)

Quando se considera um valor de desaceleração muito pequeno, o comprimento e os custos necessários para a implantação serão maiores. Já quando o valor adotado é elevado os veículos pode sofrer uma parada brusca, ocasionando acidentes ao condutor, danos ao veículo e, possivelmente, um deslocamento da carga contida como carregamento.

#### 3.8.2.1. Comprimento da caixa de retenção

Segundo estudos realizados por Liu, Shen, Wand e Zhang (2010 *apud* STRONG; VASQUEZ, 2018, p.14), foram analisadas nove vias expressas na China, onde foi constatado que, após análises envolvendo o tráfego de veículos e índice de acidentes, um valor aproximado e adequado de entrada dos veículos no dispositivo seria de 102 km/h, sem haver acidentes ao condutor. Outro aspecto importante que se deve considerar ao estipular o comprimento da caixa de retenção é a desaceleração que o veículo irá sofrer ao utilizar o dispositivo e é dependente da velocidade de entrada no dispositivo.

Essa desaceleração está relacionada às características do veículo que irá utilizar o dispositivo, propriedades de rolamento do material de preenchimento utilizado no interior da caixa, inclinação na qual a área de escape estará instalada e o qual profunda ela será. Quando se considera um valor de desaceleração muito pequeno, o comprimento e os custos necessários para a implantação serão maiores. Já quando o valor adotado é elevado os veículos pode sofrer uma parada brusca, ocasionando acidentes ao condutor, danos ao veículo e, possivelmente, um deslocamento da carga contida como carregamento.

Para estimar a velocidade de entrada dos veículos na área de escape, deve-se considerar que o freio de serviço e os sistemas auxiliares de frenagem do veículo estejam totalmente inoperantes e verificar as forças que atuam no veículo em um declive (AASHTO, 1994). Nesse caso, as seguintes resistências devem ser analisadas:

- Componente do peso tangencial à direção do movimento (resistência de rampa), que é a força que nos declives provoca um aumento de velocidade. Sua intensidade depende do peso do veículo e da inclinação da via.
- Resistência de rolamento, que é a força contrária ao movimento, proveniente do contato entre os pneus do veículo e a superfície da via. Sua intensidade é influenciada pelas características do material usado na superfície de rolamento.
- Resistência do ar, uma força contrária ao movimento, mas que pode ser desconsiderada na estimativa da velocidade de entrada, o que provoca um aumento do fator de segurança.

Alguns modelos matemáticos foram propostos a fim de calcular o comprimento da caixa de retenção necessário para frear veículos desgovernados. Um modelo proposto por Taragin (1945), também descrito pela AASHTO (2011) no sistema métrico, determina o comprimento da caixa levando em consideração a velocidade de entrada, o percentual de inclinação da caixa e da resistência de rolamento do material, como mostra a Equação 1.

$$L = \frac{V^2}{254(R \pm G)} \quad (1)$$

Onde:

L = Comprimento da caixa de retenção (m);

V = Velocidade de entrada no dispositivo (km/h);

R = Coeficiente de rolamento do material de preenchimento;

G = Porcentagem de inclinação utilizada na caixa.

Outro modelo disposto de testes realizados pela *Roads and Traffic Authority* – RTA, da Austrália, um método diferente de dimensionamento, conforme a Equação 2.

$$L = \frac{V^2}{(26a + 2,55X)} \quad (2)$$

Onde:

L = Comprimento da caixa de retenção (excluindo os primeiros 50m) (m);

a = desaceleração (Tabela 4);

X = inclinação do dispositivo (%).

**Tabela 4 - Valores médios de desaceleração**

<b>MATERIAL</b>	<b>a (m/s<sup>2</sup>)</b>
Areia com 35 cm de profundidade	2,8
Areia com 45 cm de profundidade	3,4
Brita com 35 cm de profundidade	3,0
Brita com 45 cm de profundidade	3,7

Fonte: QDOMR, 2000 *apud* ZANOLI, 2003.

Na equação anterior, os primeiros 50 m são excluídos da equação devido ao fato de que ocorre uma transição na profundidade da caixa de retenção.

De posse do valor da desaceleração média convém utilizar a equação de Torricelli (3) para ter o comprimento necessário para que o veículo possa frear com segurança. Então, têm-se que:

$$V^2 = V_0^2 + 2a\Delta x \quad (3)$$

No qual:

V = Velocidade final (m/s);

V<sub>0</sub> = Velocidade inicial (m/s);

a = aceleração (m/s<sup>2</sup>);

Δx = distância percorrida (m);

Para demais valores, não presentes na tabela 3, utiliza-se a formulação padrão para o cálculo da desaceleração, sendo:

(4)

$$a = \frac{mg \sin \theta - mg \cos \theta R}{m}$$

Para

$a$  = desaceleração (m/s<sup>2</sup>);

$m$  = massa do veículo (kg);

$g$  = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);

$R$  = resistência de rolamento (Tabela 3).

### 3.8.2.2. Profundidade da caixa de retenção

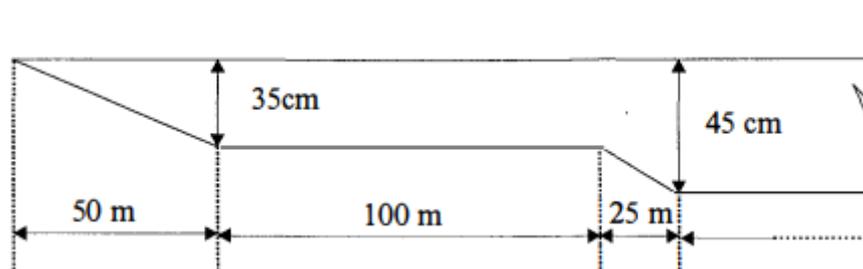
As dimensões das caixas de retenção devem proporcionar uma entrada segura, níveis de desaceleração aceitáveis e um comprimento suficiente para frear os veículos que ali entrarem, com diferentes velocidades. A eficácia da caixa de retenção depende da sua geometria, principalmente sua profundidade e comprimento (ADoT, 1993).

Dois aspectos devem ser considerados ao dimensionar a profundidade de uma caixa de retenção. O primeiro aspecto trata da profundidade do trecho inicial, onde é variável. No início da caixa convém evitar um afundamento acentuado das rodas do veículo; as caixas devem ter profundidades menores nos primeiros metros de seu comprimento, a fim de minimizar os efeitos de uma desaceleração abrupta na entrada do dispositivo e até mesmo facilitar a extração dos veículos da caixa. Outro aspecto diz respeito à profundidade útil da caixa, pois com o passar do tempo, fatores externos como a contaminação (presença de folhas, sujeira, finos, óleos, combustíveis etc.) e a compactação do material diminuem a espessura útil do material, o que irá reduzir a eficiência de desaceleração do dispositivo.

De acordo com AASHTO (2001), recomenda-se uma profundidade mínima de cerca de 100 cm, distribuídas de forma crescente ao longo do comprimento da caixa de retenção. Inicialmente, a caixa inicia com uma profundidade de 7,5 cm e entre os 30 a 60 m aconselha-se que a caixa de retenção alcance a sua profundidade total, se tornando constante ao longo do restante do comprimento do dispositivo. Após realizações das análises, Witheford (1992) sugere que a profundidade mínima da caixa de retenção seja de 45 cm, valores abaixo disso podem atuar diretamente na diminuição da resistência de rolamento que o material de preenchimento vai fornecer. Segundo o *Institute of Transportation Engineers - ITE* (1989 *apud*

ZANOLI, 2003, p.59), sugerem que no início da caixa de retenção a profundidade seja de 15 cm e no trecho entre 30 a 60 m alcance a profundidade que pode variar entre 46 a 90 cm.

Essa configuração proposta necessita de locais onde se tenha grande espaço disponível para a construção do dispositivo, conforme mostrado na figura 5, que ilustra e demonstra o perfil de profundidade



**Figura 6 - Perfil de profundidade**

Fonte: *Institute of Transportation Engineers*

Percebe-se que não existem fórmulas ou regras uniformes para se determinar a profundidade ideal da caixa de retenção. Desta forma, deve ser feita uma análise conjunta das características do material disponível e da intensidade da desaceleração desejável que melhor se ajuste às condições do local de instalação da área de escape.

### 3.8.2.3. Largura da caixa de retenção

A proposta de Yee (1996), alerta que é recomendado que a caixa de retenção possua uma largura com uma variação entre 4 a 6 metros, mas indica-se que seja utilizado 5 metros, de acordo com o veículo de projeto utilizado nas variáveis do dimensionamento fazendo com que a largura de 1 metro para cada lado, seja dimensionada como folga. Em caso de apenas meio eixo do veículo penetra na caixa e a outra metade continua a rolar sobre o acostamento ou pista, tem-se uma caixa de meia largura. Nesse caso a desaceleração provocada é assimétrica, aumentando os riscos de danos e a necessidade de maiores comprimentos para parar os veículos (SETRA, 1993).

Dentre essas dimensões mencionadas anteriormente, estão inclusos os 3 metros mínimos necessários e recomendado de pista auxiliar, que deverá estar localizada ao lado da caixa de retenção, podendo ser em um lado somente ou nos dois. Essa pista auxiliar deverá ser bem-sinalizada para que os condutores não sejam ludibriados com o dispositivo da caixa. Além disso

terá a função de facilitar na retirada dos veículos que, conseqüentemente, utilizarem a caixa de retenção, e para que caso outro condutor necessite utilizar o dispositivo, possa realizar o acesso a partir dessa pista auxiliar.

Pelo fato de não haver um cálculo padronizado para o dimensionamento da largura de acesso da área de escape, sugere-se que seja feita uma análise dos veículos que frequentemente sofrem acidentes no trecho onde será instalado o dispositivo, o VDM da rodovia além das condições topográficas do local. Feita essa análise, será possível tomar uma decisão adequada a respeito da largura da caixa de retenção, que segundo o manual norte americano, deve ser maior que a largura dos veículos que possam vir a utilizar e a largura que as pistas auxiliares deverão ter, para que o veículo que utilize o dispositivo seja retirado de forma rápida e eficiente.

Essas variáveis podem ser usadas como ferramentas para auxiliar na determinação da largura. Vale ressaltar que quanto maior a dimensão da caixa maior será o custo de construção do dispositivo.

### **3.8.3. Quanto à operação**

As operações das áreas de escape são definidas por três parâmetros, sendo eles sinalização, suporte de auxílio aos veículos e técnicas de manutenção. Abordando recomendações e experiências multinacionais em relação a essas operações, serão analisados e discutidos cada tópicos para execução.

Normas norte-americanas recomendam sinalização próxima a entrada da rampa que proíba os condutores de estacionar nas proximidades do dispositivo. O acesso e os limites da caixa devem ser delineados por algum tipo de sinalização luminosa, para facilitar o uso noturno. Placas no sentido longitudinal da via devem informar aos condutores as características do declive, como extensão e inclinação, e concatenando informações de Setra (1992) e, além de informações necessárias sobre a velocidade de segurança a ser desenvolvida, a necessidade de se verificar os freios, uso do freio motor e até mesmo considerações sobre o uso do freio e marcha a ser escolhida pelo motorista.

Em caso de readequação da área de escape após a utilização ou mesmo durante a realização de manutenção, convém criar sistemas de sinalização para informar aos motoristas que a área de escape não está disponível. A sinalização horizontal de marcação do acesso à

caixa deve ser diferenciada de uma saída normal, utilizando um tabuleiro de xadrez vermelho e branco com um metro de largura para evidenciar o acesso à área de escape (SETRA, 1993).

Quanto a retirada dos veículos da área destinada, sendo as pistas de serviço e blocos de ancoragem, justapostos longitudinalmente à rodovia, que devem fazer parte do dimensionamento dos ramos de escape. No projeto de áreas de escape deve-se prever um modo eficaz, fácil e rápido de retirada dos veículos, para que o dispositivo possa voltar a operar o mais rápido possível. Vale ressaltar que em alguns casos a rodovia também pode ficar interditada até o término do processo de retirada do veículo (Witthford, 1992).

A largura indicada para essa área de serviços pode variar entre 3,5 e 5,0 metros, sempre ao lado esquerdo da caixa de retenção. É indispensável o uso de blocos de ancoragem que vão auxiliar os equipamentos utilizados na retirada dos veículos, como por exemplo guindastes e guinchos. Esses blocos podem ser do tipo pilar de fundação, com as dimensões variando entre 2 metros de comprimento e 0,50 metros de diâmetro (SETRA, 1993 *apud* ZANOLI, 2003). A faixa de rolamento auxiliar, ou em caso de mais de uma, deve estar incluída em um projeto de dimensionamento de uma área de escape (Andretta, 2021), assim como os equipamentos necessários para fazer com que a remoção do veículo da caixa de retenção ocorra da forma mais rápida possível. Essa faixa de rolamento de serviço deverá ser dimensionada e projetada de tal forma que os condutores que estiverem fora de controle possam diferenciar do dispositivo de contenção.

Leach e Ives (1995) em estudo acerca da extração de veículos articulados, alegam que o tempo gasto para cada extração fica entre 2 horas e em alguns casos até mais de 3 horas. Outro método de extração utilizados nos ensaios foi feito em conjunto com caminhões equipados com guindastes para levantar os veículos durante a retirada. Esse método reduziu em até uma hora o tempo de extração do veículo, mas apresenta um custo maior. Também é importante considerar um projeto de drenagem separado do pluvial para a contenção dos líquidos contaminantes e combustíveis, derivados de vazamentos dos veículos que utilizarem a caixa de retenção, evitando assim problemas de contaminações ambientais.

Estudos norte-americanos alertam sobre a necessidade de escarificação periódica do material e não somente após cada uso. Descrevem também uma pesquisa sobre os efeitos da contaminação do agregado ao longo de tempo, por meio de um estudo realizado por Hayden

(1982), em que se observa o acréscimo da distância para frear os veículos com o passar dos anos.

#### **3.8.4. Local de instalação**

As áreas de escape são implantadas com a finalidade de interceptar veículos desgovernados. O custo de instalação desses dispositivos deve ser compensado por uma redução do número de vítimas e danos materiais dos caminhões que se envolvem em acidentes por falta de freios em declives. Por isso, um estudo sobre a utilidade e viabilidade de implantação da área de escape deve ser realizado para que o dispositivo implantado seja útil e ofereça maior segurança para o transporte de veículos rodoviários em declives.

No Canadá, foi feito um estudo, por Abdelwahab e Morral, (1997) das variáveis envolvidas na determinação da necessidade de implantação de dispositivos como áreas de escape em rodovias em trechos ondulados e montanhosos. As variáveis analisadas foram as seguintes:

- Características dos veículos;
- Comportamento dos motoristas de caminhão antes e durante a descida;
- Perfis em escala horizontal das velocidades desenvolvida pelos caminhões, das temperaturas dos freios e da localização dos acidentes ao longo do declive;
- Existência de áreas para verificação dos freios no início do declive;
- Identificação de locais onde a velocidade dos veículos excede o limite permitido e a temperatura dos freios atinge o valor de *fade*.

Fatores como a conduta do condutor e a sua integração com o veículo, estrada e o meio devem ser analisadas, partindo do pressuposto que não somente os fatores correspondentes a rodovia e o veículo são responsáveis pelos acidentes, e, os parâmetros mencionados anteriormente. Não existem regras firmes para a escolha do local de instalação da área de escape (AASHTO, 1994).

Em ocasiões em que não for possível efetuar os estudos necessários para a realização ou o trecho necessitar de mais de uma área de escape, recomenda-se, que o dispositivo seja instalado em um local onde correspondente à 66% do início do declive e distantes entre si em aproximadamente dois quilômetros uma da outra (SETRA, 1993 *apud* ZANOLI, 2003, p.32).

É comum que a sua implantação em rodovias seja realizada à direita em relação ao fluxo de veículos, preferencialmente a tangente, devido ao fato da faixa da esquerda ser utilizada por veículos que operam em velocidades mais elevadas, fazendo com que em muitos casos não haja uma cooperação para que o usuário que se encontra com problema possa realizar a ultrapassagem para utilizar o dispositivo com segurança. Também, é indicado a execução antes de curvas horizontais, caso o veículo já esteja com problemas de frenagem e fora de controle não haverá o tombamento por conta do excesso de velocidade ao tentar contornar a curva.

Alguns parâmetros devem ser analisados antes da implantação desse dispositivo e, caso não atendam, é recomendado a sua utilização, são eles: se o local e questão apresenta um elevado número de acidentes com veículos fora de controle, se há condições de atenuar as ocorrências com uma sinalização adequada e se o local atende os requisitos necessários para a execução.

Uma análise conjunta de diversos fatores como índice de acidentes, condições topográficas, espaço físico disponível, velocidade, conduta dos motoristas, características dos caminhões, análise da temperatura dos freios dos caminhões e outros podem auxiliar na determinação de trechos da via em que seria viável a implantação de uma área de escape. QDMOR (2000) em suas análises descreve que em locais com inclinações superiores a 6% é um VDM maior que 150 veículos, recomenda-se a utilização da tabela 5, combinada com a verificação dos demais parâmetros.

**Tabela 5 - Distância entre início do declive *versus* início do dispositivos**

<b>Inclinação (%)</b>	<b>Distância do início do dispositivo (km)</b>
<b>6,00 - 10,00</b>	<b>3,0</b>
<b>10,00 - 12,00</b>	<b>2,5</b>
<b>12,00 - 15,00</b>	<b>2,0</b>
<b>15,00 - 17,00</b>	<b>1,5</b>
<b>&gt;17,00</b>	<b>1,0</b>

Fonte: QDMOR (2000)

O principal método para determinar os locais do trecho estudado mais indicados para implantação de áreas de escape, desenvolvido em pesquisas canadenses por Abdelwahab e

Morrall (1997) envolve quatro diferentes etapas, sendo elas a avaliação dos aspectos geométricos e o perfil longitudinal do declive, caracterização da via; estimar o perfil de velocidade desenvolvida por um caminhão com freios defeituosos ou sem freio ao longo do declive; estimar a temperatura dos freios do caminhão durante a descida, perfil de temperatura; e analisar o número de acidentes registrados no trecho envolvendo veículos desgovernados.

A caracterização da via, visa obter os raios e a superelevação das curvas horizontais que compõem o trecho, as inclinações e extensão dos declives e o coeficiente de atrito do pavimento, já o perfil de velocidade, visa determinar o comportamento da velocidade desenvolvida ao longo do declive, supondo um cenário em que um veículo sem freio percorre todo o declive com velocidade imposta pelas forças de resistência e limitada pelas características geométricas da via. Em relação ao perfil de temperatura, consta estimar o comportamento da temperatura dos freios do caminhão ao longo do declive, finalmente o número de acidentes, visa obter dados de registros de acidentes envolvendo veículos que perderam o freio ao longo da descida.

Sabendo que um dos principais fatores pela ocorrência de caminhões desgovernados é a falta ou problemas relacionados à frenagem, uma das principais técnicas utilizadas na implantação de áreas de escape nos Estados Unidos e Canadá, tanto para novos projetos ou em locais já existentes, é a utilização do *Grade Severity Rating System – GSRS*. A sua utilização consiste em analisar, através de um limite que é estipulado com o auxílio de um modelo matemático a partir das características do caminhão, uma temperatura máxima e adequado que o sistema de frenagem pode alcançar em trechos íngremes e sinuosos, em geral  $260^{\circ}\text{C}$  - *ponto de fade*. Esse ponto é alcançado quando o condutor utiliza o seu sistema de frenagem de forma recorrente, forçando-o e fazendo com que as temperaturas das pastilhas do sistema do freio aqueçam, e conseqüentemente ultrapassando o limite de *fade*. Isso faz com que se perca o contato com o disco dos freios (BOWMAN 1989 *apud* SHULER; STRONG; VASQUEZ, 2018).

Em locais em que essa temperatura é ultrapassada, existem grandes possibilidades de ocorrer uma falha no sistema ou uma perda de controle por parte do condutor, sendo assim, esse trecho em específico é uma possível localidade para realizar a implantação da área de escape (BOWMAN 1989 *apud* SHULER). Com a análise conjunta das situações mencionadas é

possível detectar os pontos do declive que mais necessitam da implantação de uma área de escape.

### 3.9. VELOCIDADES

Para definir as velocidades de escorregamento e tombamento nas curvas horizontais do trecho estudado é necessário conhecer os raios de curvatura, a superelevação e o coeficiente de atrito transversal. O coeficiente de atrito transversal foi obtido através da Norma de Projeto Rodoviário – DAER (1994).

Abdelwahab e Morral (1997) informam que um dos fatores utilizados para avaliar a localização de áreas de escape é o comportamento da velocidade desenvolvida pelo caminhão sem freios ao longo do declive. Esse perfil de velocidade permite conhecer a velocidade na qual um caminhão sem freio chega até uma determinada curva horizontal, onde a velocidade é limitada pelas condições de tombamento ou escorregamento. As velocidades máximas que podem ser desenvolvidas em curvas horizontais do trecho analisado para estudo foram definidas em função da velocidade limite de escorregamento ou de tombamento, adotando-se a menor entre elas.

Para Gillespie (1992) tombamento é toda e qualquer manobra na qual o veículo gira 90 graus ou mais em torno do eixo longitudinal, com o corpo do veículo mantendo contato com o solo. Os tombamentos laterais são típicos de veículos pesados em curvas horizontais (ECHAVEGUREN *et. al.*, 2005), sendo esse problema mais intenso nas curvas de menor velocidade (BONNESON, 2000; NAVIN, 1992), que apresentam raios pequenos e maior aceleração lateral.

De acordo com as diretrizes da AASHTO (2011) para projeto geométrico, a velocidade limite de tombamento é dada por:

$$V_R = \sqrt{\frac{(e.h+b)}{h} g.r} \quad (4)$$

Sendo:

$V_R$ : velocidade limite de tombamento de veículo (km/h);

$e$ : superelevação de projeto (m/m);

b:  $\frac{1}{2}$  bitola do eixo traseiro (m);

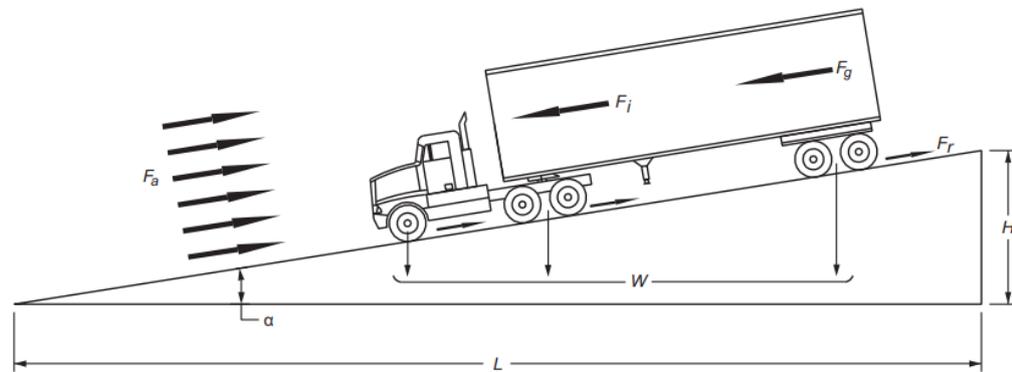
h: altura do centro de gravidade do caminhão (m);

r: raio de curvatura (m);

g: aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ).

Os dados referentes à superelevação e raio de curvatura das curvas horizontais foram calculados através do Manual de Projeto Geométrico - DAER, e, para a aceleração da gravidade considerou-se um valor igual a  $9,81 m/s^2$ . Para os demais dados, os valores adotados foram de acordo com o Quadro de Fabricantes de Veículos – DNIT, obtido na Coordenação Geral de Operações Rodoviárias, para um veículo do tipo S23 sendo eles: a altura usual do centro de gravidade do veículo é igual a 3,81 m, já a largura do eixo traseiro tem um valor médio de 2,60, sendo 1,30 m para meia bitola. Para a execução dos cálculos, foi utilizado para otimizar os cálculos, o auxílio de uma planilha em Excel, onde estarão disponíveis os valores limites da velocidade de tombamento para cada uma das curvas.

Para o cálculo mencionado anteriormente no que diz respeito à velocidade na qual o veículo desgovernado pode alcançar em um declive será considerado que ele está em um plano inclinado, de acordo com a equação (3) e conforme figura 11, isolando a aceleração alcançada. A distância de rolamento na qual o veículo terá que percorrer será a diferença entre os valores correspondentes ao ponto de curva e tangente, PC e PT, respectivamente. Como o desnível de cada quilômetro é de conhecimento de acordo com o projeto executivo (DAER, 2001), pode-se obter a inclinação correspondente a cada trecho da rodovia, que será utilizado nos cálculos para a obtenção da aceleração do veículo em um declive.



**Figura 7 - Forças atuantes em um veículo**

Fonte: AASHTO (2011)

Segundo AASHTO (2011), as definições para as componentes presentes estão a seguir:

$F_a$ : Resistência ao ar;

$F_r$ : Resistência ao rolamento;

$F_j + F_g$ : Componente do peso.

Por adotar o modelo de massa pontual, a condição não é sensível à distribuição dos esforços entre os eixos e rodas do veículo, nem considera as peculiaridades dos sistemas de freio dos veículos combinados. Embora adote fatores de atrito disponíveis com pavimento molhado, não se considera também as especificidades das condições de aderência com o pavimento de pneus de automóveis e de veículos pesados. Os limites de conforto também foram determinados para automóveis.

Os fatores de atrito utilizados pelo *Green Book* (AASHTO, 2004 e anteriores) para a determinação do raio mínimo de curvas horizontais são baseados no desempenho de pneus de automóveis, com a premissa, plenamente justificável para automóveis, de que o tombamento não é fator de insegurança, posto que muito antes que um automóvel tombe lateralmente, já terá derrapado (a falha se dará por escorregamento). Essa premissa não contempla o comportamento de caminhões em curvas, cujo limite de tombamento lateral é bastante inferior ao dos automóveis.

De acordo com as diretrizes da AASHTO (2011) para projeto geométrico, a velocidade limite de escorregamento é dada por:

$$V_s = \sqrt{127 \cdot r(e + f)} \quad (5)$$

Para

$V_s$  = velocidade de escorregamento (km/h);

$r$  = raio de curvatura (m);

$e$  = superelevação de projeto (m/m);

$f$  = coeficiente de atrito transversal.

#### 4. MÉTODOS

A partir da definição dos objetivos sinalizados anteriormente, foi estabelecida uma metodologia acerca das etapas desenvolvidas neste trabalho, que consistem em:

- a) Definição do local onde o estudo de caso foi realizado: com base no projeto executivo, disponibilizado pelo DAER, foi localizada a região de instalação da caixa de retenção e pista de escape, bem como a decisão da curva crítica e condições topográficas.
- b) Análise do índice de acidentalidade, a origem desses acidentes ocorridos, suas causas e consequências acerca de falhas mecânicas ou perda de freios, com predominância em caminhões e selecionar a que apresenta o maior índice: tendo em vista a ocorrência de acidentes ocorridos no sentido do estaqueamento, foi proposto um estudo quanto às razões e consequências da predominância e seus impactos na decisão do km de instalação.
- c) Verificação das características geométricas, com as devidas classificações: a verificação foi feita analisando os declives, os raios das curvas e comparando com os de norma, com o VDM retirado das bases do DAER. Esse dado é utilizado para avaliar a distribuição de tráfego, medir a demanda de uma via e programar melhorias básicas.
- d) Estudo das velocidades apresentadas pelos veículos quando desgovernados: com base nas condições planialtimétricas de projeto, foi realizada uma análise das velocidades de tombamento e escorregamento, bem como consideração dos materiais de revestimento acerca das condições de rolamento.
- e) Definição do local adequado, a partir dos resultados obtidos, para a implantação da área de escape: em relação à classificação definida, o Conselho Rodoviário da Brigada Militar – RS (CRBM) disponibiliza o índice de acidentes referente à toda a extensão da rodovia, entre 0 e 22. Sendo assim, foi considerado que em todas as curvas contidas em cada quilômetro da rodovia, e que houvesse tido uma ocorrência, apresentaram acidentes. Dentre os quilômetros de maior incidência de acidentes, destaca-se o km 9, onde apresenta uma expressiva inclinação, fora de norma, de 11,9% e curvas acentuadas, com pouca, por vez, nenhuma visibilidade de ultrapassagem e de parada.

- f) Dimensionamento da caixa de retenção: foram realizados estudos para o dimensionamento da área de escape, no que diz respeito ao seu comprimento, largura e diversos modelos empíricos para o cálculo da profundidade, sendo demonstrado memória de cálculo de cada um deles. Modelos norte-americanos, oriundos da AASHTO e europeus foram adaptados para a localidade do estudo de caso, o qual o primeiro método de dimensionamento consiste em analisar variáveis de veículo, também considerando propriedades do material de rolamento sendo argila expandida, já o segundo se dá analisando a desaceleração do veículo ao percorrer o declive juntamente com a inclinação do terreno.
- g) Proposição da viabilidade ambiental acerca da implantação: foram aplicadas técnicas de geoprocessamento para trabalhar os dados encontrados e assim, foram produzidas bases com os *shapefile*, a fim de sintetizar melhor o local de estudo.
- h) Conclusões: com a elaboração deste estudo, têm-se como conclusão que foi possível compreender o funcionamento e a necessidade de aplicação de um dispositivo de contenção de veículos desgovernados, mais precisamente uma área de escape. Através das análises realizadas ao longo do trabalho foi possível, junto com os conhecimentos adquiridos, avaliar o melhor local para a instalação de uma área de escape, e se seria viável a sua execução a partir dos dados e resultados que foram obtidos.

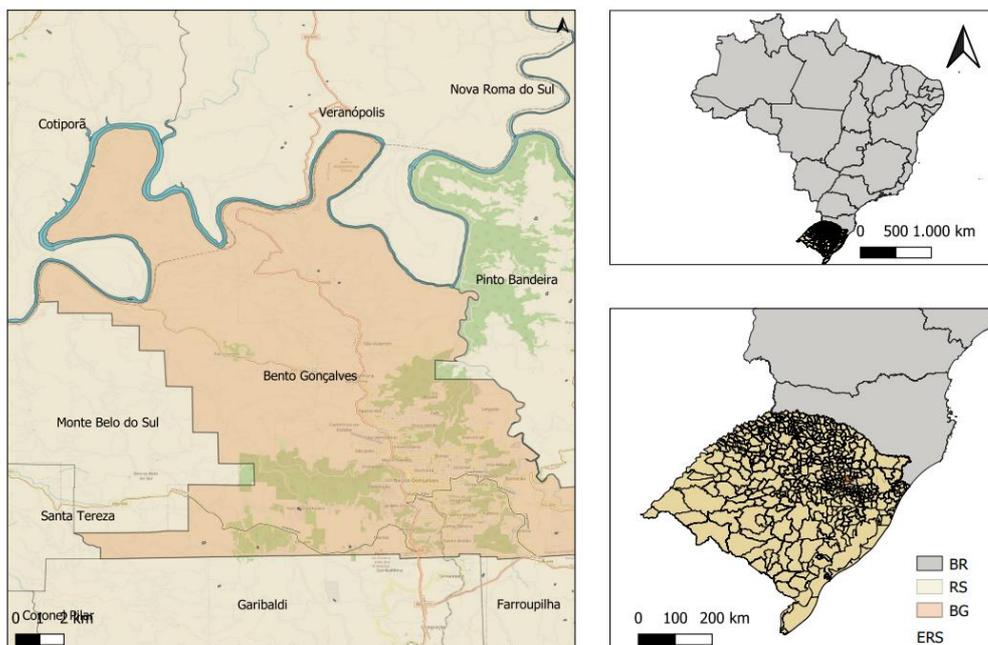
## 5. ESTUDO DE CASO

A rodovia na qual foi realizado um estudo de viabilidade para implantação de uma área de escape foi a ERS-431 sob o trecho da RST/470 – Santa Bárbara.

### 5.1. LOCAL DE ESTUDO

É de suma importância uma caracterização a respeito da rodovia, para que seja possível realizar uma verificação quanto aos parâmetros de projeto e alcançar uma análise mais detalhada sobre ela.

Segundo informações disponibilizadas no projeto executivo, a rodovia possui uma classificação de classe III, mas com características de IV-A, em uma região montanhosa, de acordo com a RMD característica, de aproximadamente 34,42% em uma velocidade diretriz de 40 km/h, uma superelevação máxima de 8% e uma pista simples de rolamento de 7,00m. Em termos de localização, seu início ocorre no km 0+000,00 nas proximidades do entroncamento da RST/470 e o seu final encontra-se no km 22+166,05 (Santa Bárbara), no município de Bento Gonçalves. A extensão total da rodovia é de 22.166,05 metros (DAER, 2001).



**Figura 8 - Localização**

Fonte: elaborado pelo autor

O local no qual será realizado o estudo possui um total de 101 curvas horizontais, com raios variando entre 8,75 e 2150,00 metros. A região crítica dá-se entre o km 6 ao 11, onde inicia o declive de forma mais acidentada em relação ao terreno.

## **5.2. ÍNDICE DE ACIDENTALIDADE**

A forma de tratar esta questão já sofreu várias mudanças ao longo do tempo (OECD, 1997b). Atualmente, acredita-se que o gerenciamento da segurança viária (GSV) é a forma mais eficiente de tratar o problema sem desperdiçar os escassos recursos disponíveis (Nodari, 2003, p. 01). A adoção de práticas GSV por alguns países têm ajudado a solucionar os problemas de terceira ordem. (OECD, 2002a).

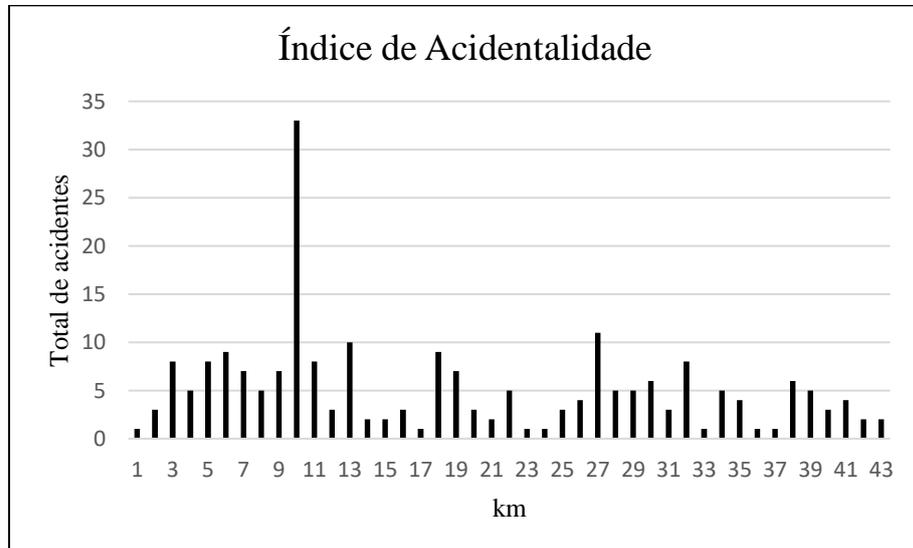
Sampedro Tamayo (2010) cita alguns dos fatores da infraestrutura viária e do meio ambiente que mais incidem sobre a segurança de motoristas, passageiros e pedestres, que são: a geometria e o traçado, as condições do pavimento, a sinalização, a chuva e a neblina, entre outros. Estudos realizados na década de 1960 já alertavam que a frequência e a severidade de acidentes podem ser afetadas por aspectos associados a fatores de engenharia da via e às condições do meio ambiente. ASF (1963, *apud* Sampedro Tamayo, 2010) analisa e resume questões relacionadas ao efeito de diferentes características viárias sobre a segurança dos usuários, entre as quais: volume de tráfego, seção transversal, alinhamento, interseções, travessias de ferrovias, velocidade, pedestres, estacionamento e iluminação.

Para o levantamento desses índices, foi utilizada uma base de dados de acidentes referente aos anos de janeiro de 2012 a janeiro de 2022, o equivalente a 10 anos de projeto. Essas informações foram obtidas através da base de dados do Comando Rodoviário da Brigada Militar (CRBM), através de buscas pelo site e contato direto com Sargentos responsáveis pelo 3º Batalhão, que é responsável pelo policiamento do município na qual a rodovia será estudada.

O ponto inicial a ser consultado foi a análise dos pontos onde há maior incidência de acidentes, sendo assim, os dados iniciais utilizados foram referentes à extensão total da rodovia. O site onde as informações foram coletadas possibilitam a elaboração de relatórios contendo o ano desejado, bem como a quantidade de acidentes que ocorreram no trecho específico de estudo.

Nesta análise, a partir dos dados que estão disponíveis para consulta, foi considerado o ano de referência, o local da rodovia onde ocorreram (km), os veículos que estiveram envolvidos e a classificação dos acidentes quanto a sua gravidade. Não foi observado se o tipo do acidente foi devido a falha mecânica (perda de freio), pois a base de dados que foi utilizada para elaboração do estudo não o classifica quanto ao motivo, e sim somente em relação ao tipo de acidente. O primeiro ponto de análise consultado foram os km nos quais ocorreram os acidentes, sendo assim, os dados iniciais utilizados foram referentes à extensão total da rodovia, de 0 a 22 km.

A maior ocorrência dos acidentes, são entre os km 6 e 10, mais precisamente localizados no km 9, conforme mostrado na figura 5, local com curvas horizontais e rampas fora de norma para a classe e classificação indicada. O *website* onde as informações foram coletadas possibilita fazer um *download* de um relatório contendo o ano que se deseja, bem como a quantidade de acidentes que ocorreram naquele trecho específico de estudo, e essas informações do índice de acidentalidade no período de levantamento encontra-se no anexo A.



**Figura 9 - Índice de acidentalidade**

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Nesse mesmo local, é possível obter um relatório detalhado dos veículos que foram envolvidos, podendo ser automóveis, caminhões e motocicletas. Também, é possível obter a classificação do acidente em relação a sua gravidade, podendo ser ileso, ferido e morte (CRBM, 2021). Foram obtidas informações para cada quilômetro da rodovia, em relação a quantidade

de acidentes, veículos que estiveram envolvidos, sendo um somatório entre automóveis e caminhões, classificação quanto à gravidade, que constará somente caso houver acidentes com feridos ou mortes.

### 5.3. VERIFICAÇÃO DA GEOMETRIA

De acordo com informações obtidas no DAER (2018), a rodovia possui um VDM de 682 veículos. A contagem de tráfego na rodovia em questão ocorre de forma anual, durante sete dias consecutivos com um período de 24 horas. A composição dos veículos que utilizam a via está exemplificada na tabela 6. Desta forma, com auxílio da norma de projetos rodoviários – Volume 01 (1991) com o VDM citado, podemos classificá-la como classe III (DAER, 1991).

Conforme visto anteriormente, outra análise a ser realizada é a que define as características geométricas da rodovia, nesse caso específico, suas inclinações predominantes, extensões do declive e alicive e o quão sinuoso o trecho é, sendo um fator considerável quando há acidentes (ZANOLI, 2003). Os relatórios gerados através do *software* SAEPRO da reconstituição planimétrica do projeto e altimétrica do trecho de estudo encontram-se no Anexo B.

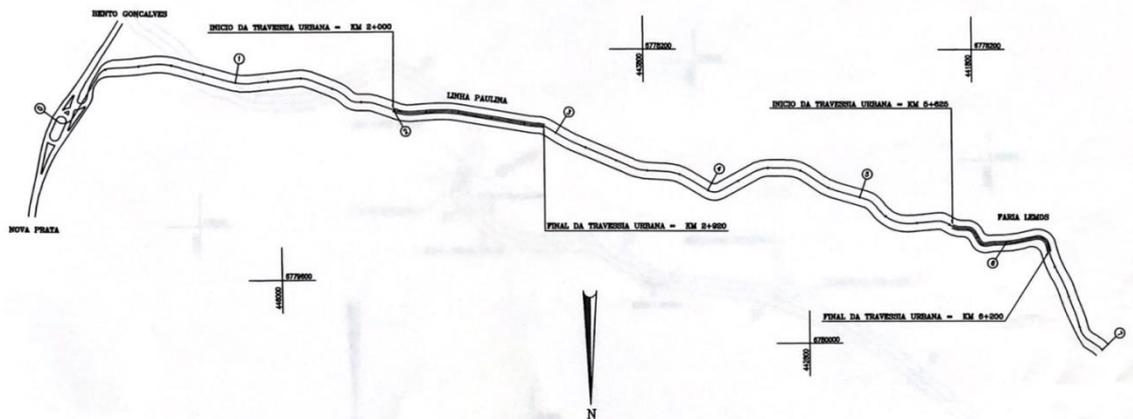


Figura 10 - Planta reduzida ERS-431 - km 0 – 7

Fonte: DAER (1996)

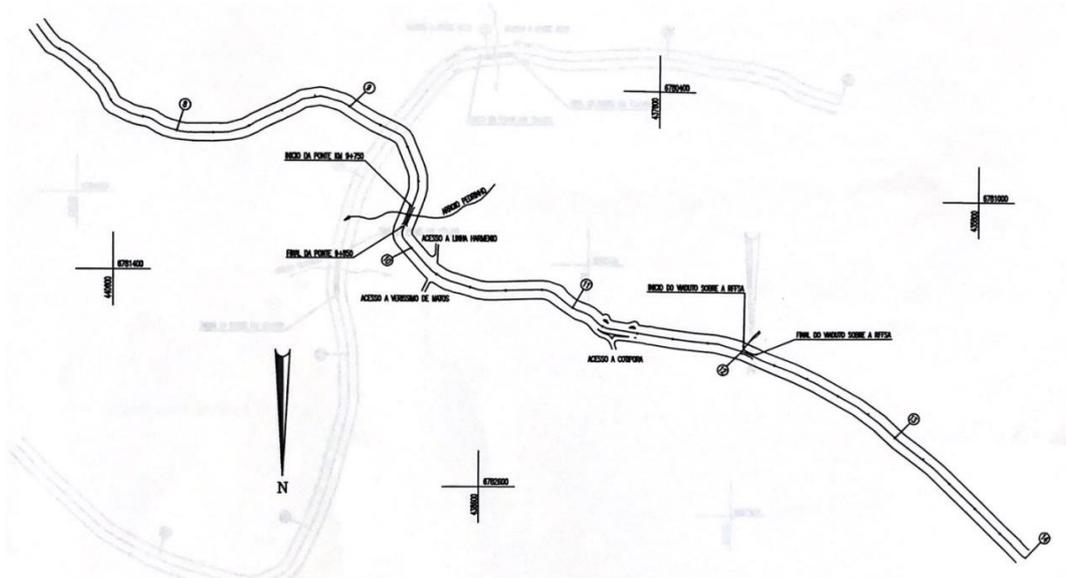


Figura 11 - Planta reduzida ERS-431 - km 8 – 14

Fonte: DAER (1996)

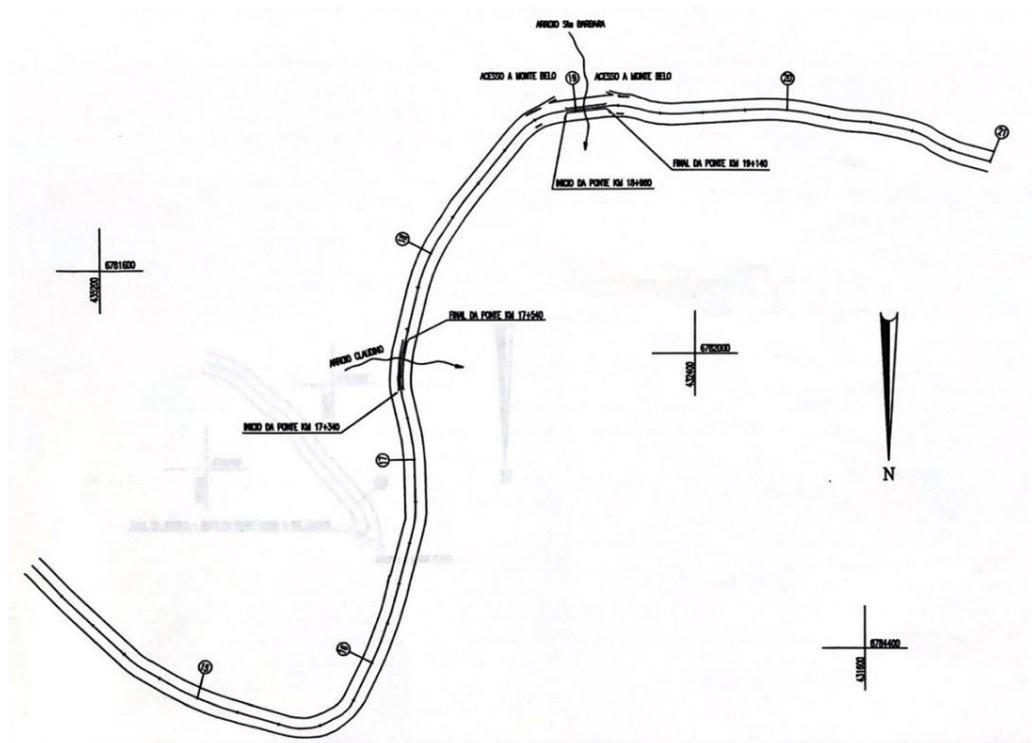


Figura 12 - Planta reduzida ERS-431 - km 14 – 21

Fonte: DAER (1996)

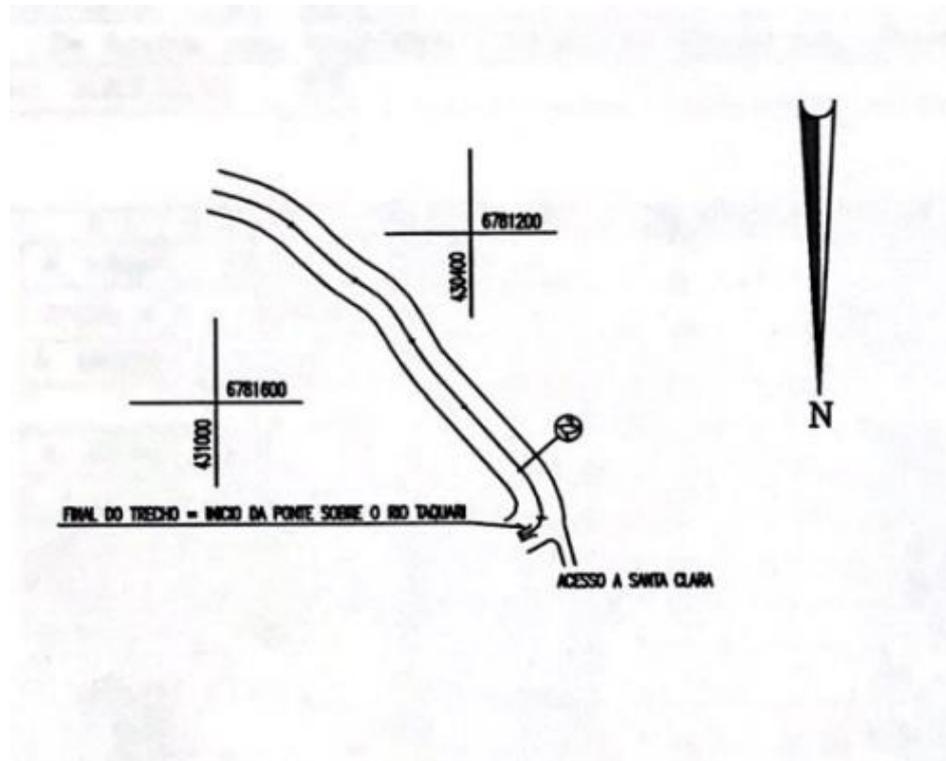
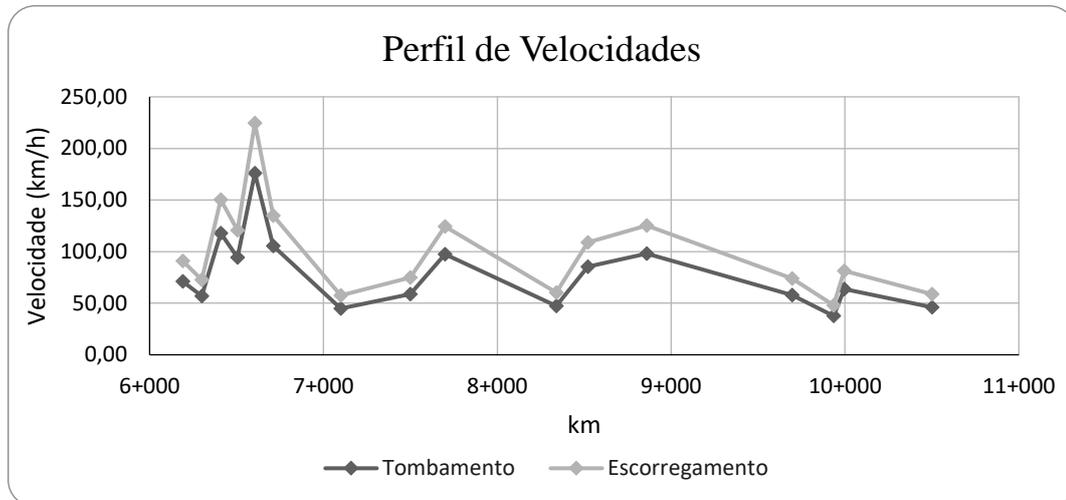


Figura 13 - Planta reduzida ERS-431 - km 22

Fonte: DAER (1996)

#### 5.4. VELOCIDADES

Cada um dos pontos da Figura 14 representa uma curva do declive para ambas as velocidades calculadas, nas quais pode-se perceber que para trecho crítico, entre o km 6 e km 11 a velocidade de tombamento é menor, em todo o trecho, que a velocidade de escorregamento,  $V_r < V_s$ , o tombamento ocorre antes do escorregamento e, por conseguinte, a maior velocidade que um caminhão poderá desenvolver nas curvas é igual velocidade de tombamento.



**Figura 14 - Perfil de velocidades**

Fonte: elaborada pelo autor

O perfil de velocidades considera o desempenho de um veículo de forma discretizada, ou seja, que a velocidade instantânea do veículo em um considerado instante é exclusivamente limitada por seu próprio desempenho. As velocidades e distâncias são determinadas para intervalos de tempos preestabelecidos, o que permite determinar a variação de velocidade ao longo do trecho estudado.

O dimensionamento da caixa de retenção se deu a partir da menor velocidade encontrada entre tombamento e escorregamento para todo o trecho crítico, neste caso a velocidade de tombamento.

## 5.5. LOCAL DE INSTALAÇÃO

O estudo de localização foi realizado por meio da aplicação de um método de determinação dos locais mais indicados para implantação de áreas de escape. O método utilizado baseou-se em um estudo desenvolvido no Canadá, adaptado e utilizado por Zanoli (2003), sendo readequado às características do trecho em serra da ERS-431, com inclusão de mais dois aspectos analisados: a velocidade com que o veículo chega no início da curva e o número de acidentes no trecho envolvendo veículos sem freio.

Além disso, por ser um real problema da região e havendo tratativas entre a Prefeitura Municipal de Bento Gonçalves e o Departamento Autônomo de Estradas e Rodagens (DAER) a respeito do alto índice de acidentalidade, entre os km 6 e 11, considerados críticos, já

mencionados anteriormente, a localização do dispositivo se deu no km 9, que está sob uma rampa de 11,988%, muito além da especificada por norma para a região, sendo de 8%.



Figura 15 - Curva km 9+300

Fonte: Google Maps (2022)

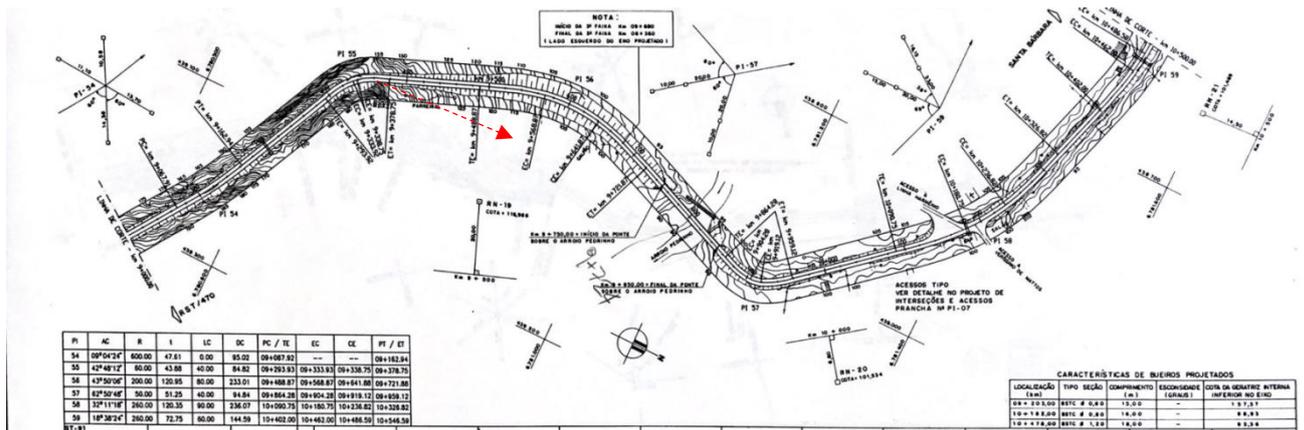


Figura 16 - Curva de projeto

Fonte: DAER (1996)

Vale ressaltar, que o local onde foi realizado o estudo de implantação de uma área de escape oferece boas condições topográficas e espaço suficiente para as dimensões do dispositivo além do que a área de escape a ser implantada do lado direito da via, posição ideal, e o acesso à caixa de retenção foi construído tangente a curva do km 9+300, facilitando a entrada dos veículos desgovernados, conforme mostrado na figura 17 a representação geométrica do dispositivo.



**Figura 17 - Representação em planta do dispositivo**

Fonte: elaborada pelo autor

## **5.6. DIMENSIONAMENTO DA CAIXA DE RETENÇÃO**

Como descrito anteriormente, as caixas de retenção podem ser construídas com qualquer declividade, considerando que não dependem da resistência de rampa para deter o veículo, sendo relacionadas com as condições topográficas da região que será implantada.

### **5.6.1. Comprimento do dispositivo**

O material que será utilizado para o preenchimento da caixa de retenção deve apresentar características uniformes, com baixo índice de compactação e possuir uma elevada resistência de rolamento. Como o agregado utilizado vai corroborar positivamente na desaceleração do

veículo desgovernado ao longo do seu comprimento, é recomendado que o material utilizado ainda tenha uma baixa resistência ao cisalhamento, fazendo com que facilite a penetração dos pneus de forma mais uniforme e fácil.

Já a sua durabilidade, de acordo com o manual norte-americano deverá ser verificada através de um ensaio de esmagamento adequado, para ver qual se adapta melhor às necessidades impostas pelo veículo desgovernado.

A eficácia da caixa de retenção está relacionada à sua geometria, principalmente da profundidade e comprimento (ADoT, 1993). O dimensionamento do comprimento será através de dois modelos descritos anteriormente. Para determinar o comprimento da caixa de retenção da área de escape será utilizado a equação (1) e (2) proposta por Taragin (1945) e *Roads and Traffic Authority* – RTA, respectivamente, onde são levados em consideração as características referentes a inclinação, velocidade, resistência ao rolamento do material de preenchimento, que foram realizados para a rodovia ERS-431 para o km 9+300.

De acordo com os dados obtidos para o dimensionamento da área de escape referente à curva PI-41, tem-se os seguintes dados:

- Velocidade = 90,08 km/h.
- Coeficiente de rolamento do material de preenchimento (R) = 25%; <sup>1</sup>
- Porcentagem de inclinação da rampa (G) = 0,00%.

Seguindo o primeiro modelo de dimensionamento para o comprimento da caixa de retenção, chega-se em:

$$L_1 = \frac{90,08^2}{254(0,25 \pm 0,00)}$$

---

<sup>1</sup> Conforme a regularidade e semelhança foi realizada uma aproximação para os valores de coeficiente de rolamento dos materiais, de acordo com o estudo proposto por Witheford (1992), sendo considerado para argila expandida o mesmo coeficiente de cascalho arredondado de 0,25.

$$L_1 = 151,51 \text{ m}$$

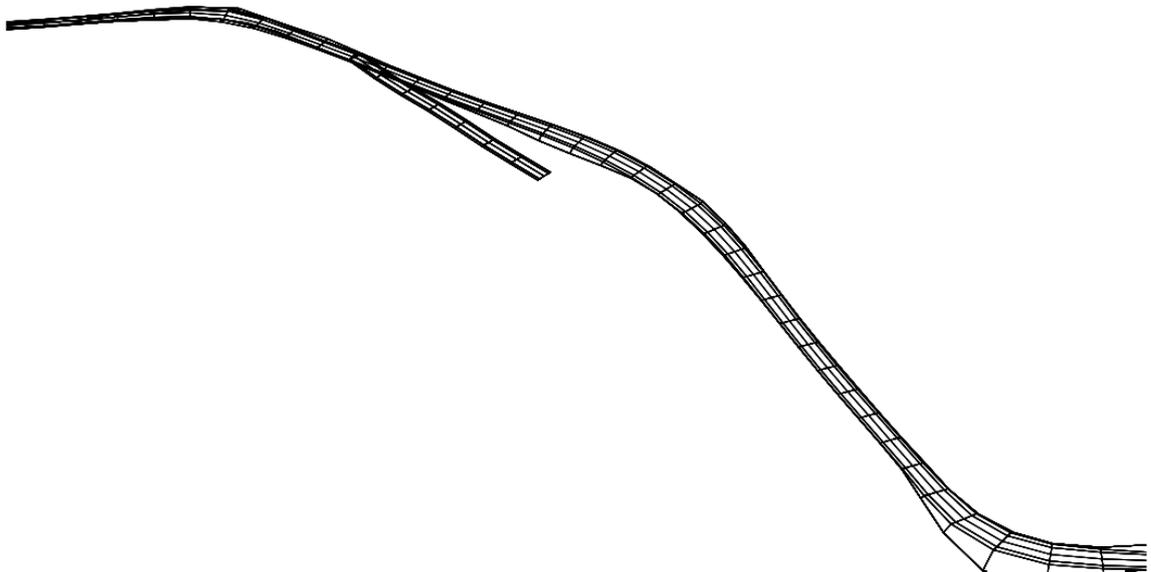
Já considerando o método australiano da RTA, para dimensionamento da caixa de retenção, tem-se que:

$$L_2 = \frac{90,08^2}{26(3,60) + 2,55(-0,1195)}$$

$$L_2 = 152,46 \text{ m}$$

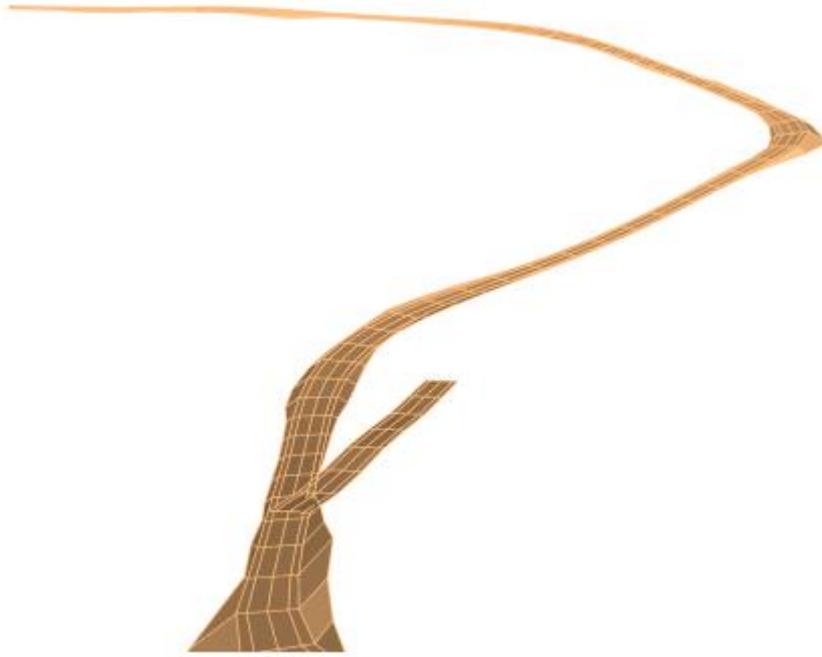
Como padrão, será utilizado o comprimento de 150 m, para a dimensão principal do dispositivo de retenção da área de escape.

As figuras 18 e 19 elucidam um esquema tridimensional da área de escape e sua caixa de retenção após dimensionada de acordo com os critérios acima citados, e a figura 20 mostra o encaixe da caixa de retenção na pista da ERS-431, elaboradas no *software* SAEPRO. Após a realização dos cálculos, os resultados referentes aos limites de tombamento e escorregamento nas curvas da rodovia e seu comprimento estão presentes no apêndice A.



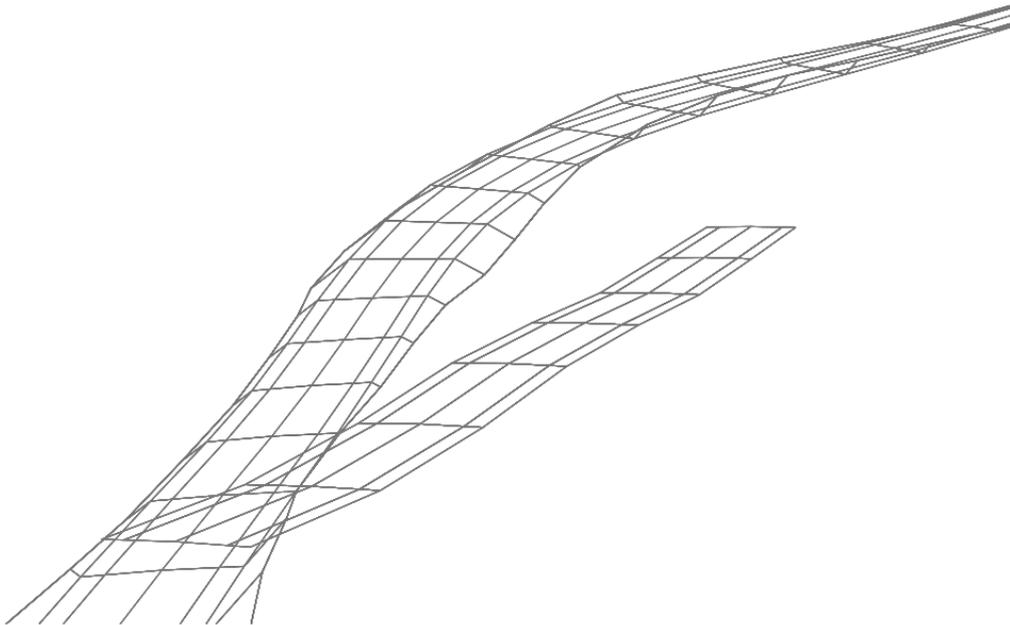
**Figura 18 - Representação 3D (Vista anterior)**

Fonte: elaborada pelo autor



**Figura 19 - Representação 3D (vista posterior)**

Fonte: elaborada pelo autor



**Figura 20 - Encaixe**

Fonte: elaborada pelo autor

### 5.6.2. Largura do dispositivo

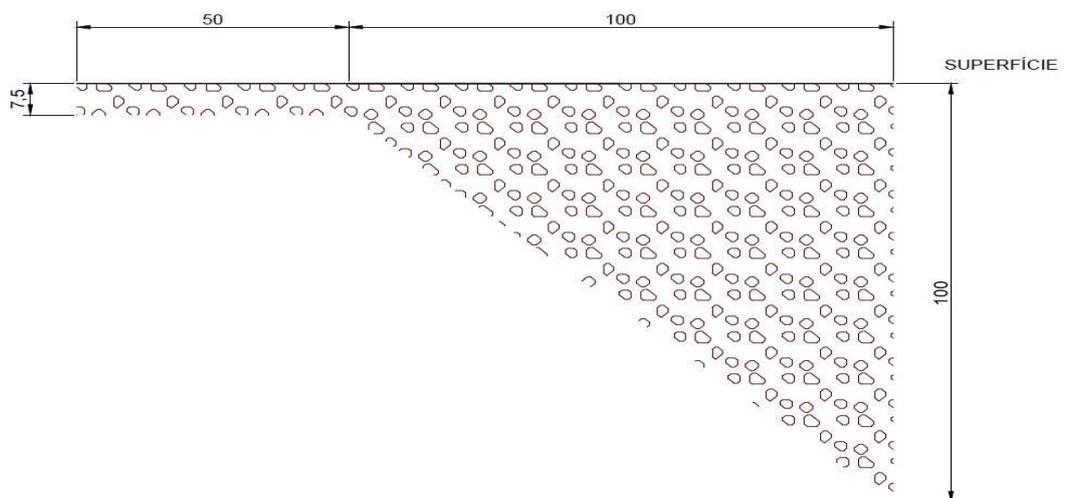
Para fins de cálculo foi considerado somente as resistências ao rolamento e a componente do peso do veículo. O caminhão tipo utilizado para os cálculos será o 2S3, com um PBT equivalente a 45 toneladas (CONTRAN, 1998). O modelo 2S3 foi escolhido, pois de acordo com os veículos que utilizam a rodovia, é um dos quais aparece com maior frequência.

A largura máxima de um veículo permitida é de 2,60 metros. Sendo assim, será considerada uma largura de 5,00 metros de caixa de retenção, seguindo as recomendações propostas por Yee (1996), que alega que considerar-se a largura do veículo que vai utilizar o dispositivo com um acréscimo de 1,00 metro para cada uma das extremidades.

### 5.6.3. Profundidade do dispositivo

Foram feitas quatro análises para o dimensionamento da profundidade da caixa de retenção, sendo um modelo descrito pela AASHTO (2011), Witheford (1992), uma análise norte americana, realizada pelo ITE descrita em 1989 e um modelo proposto em Queensland, na Austrália, desenvolvido por QDoMR (2000), que serão descritas uma a uma respectivamente.

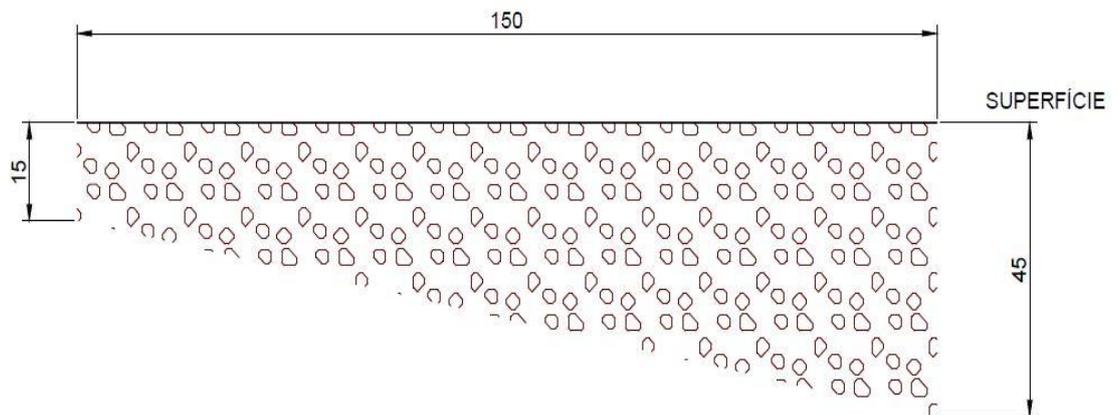
O primeiro modelo descrito pela norma norte americana, as diretrizes da AASHTO recomendam que a caixa tenha uma profundidade mínima de 7,5 cm no ponto de entrada e durante os primeiros 30 a 60 m do gradativamente aumenta até 100 cm, segue na figura 14 modelo esquemático do perfil de profundidade para o modelo descrito.



**Figura 21 - Perfil de profundidade modelo I**

Fonte: elaborado pelo autor

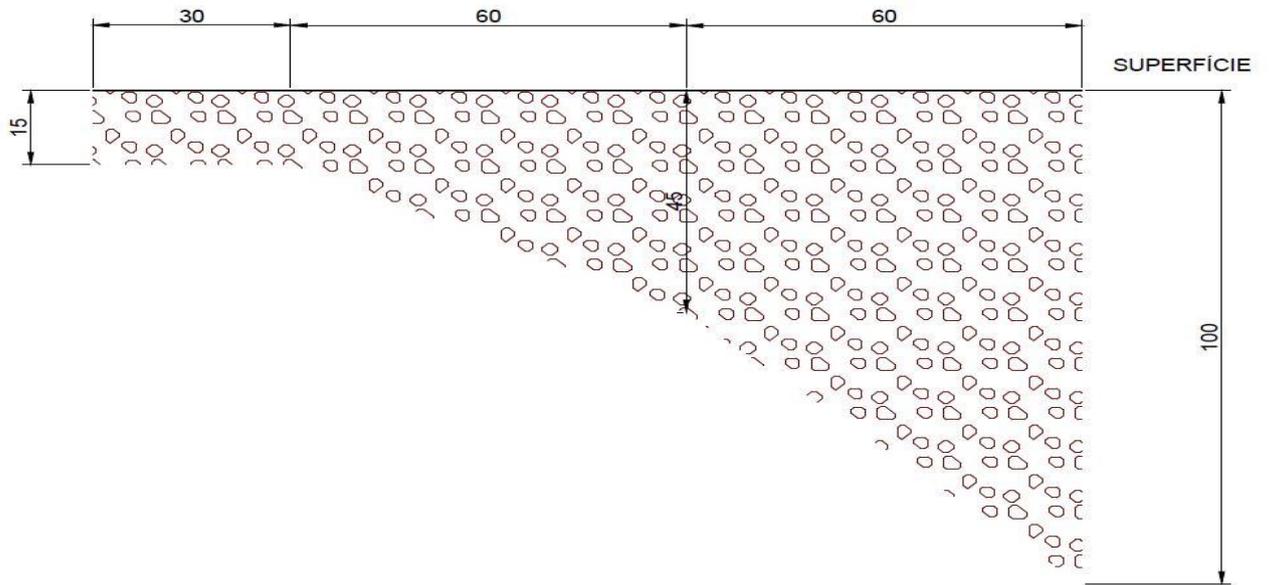
No estudo realizado por Witheford em 1992, não são recomendadas profundidades maiores que 45 cm, visto que essas profundidades podem apresentar uma redução significativa na resistência de rolamento, segue modelo do perfil de profundidade para o segundo modelo.



**Figura 22 - Perfil de profundidade modelo II**

Fonte: elaborado pelo autor

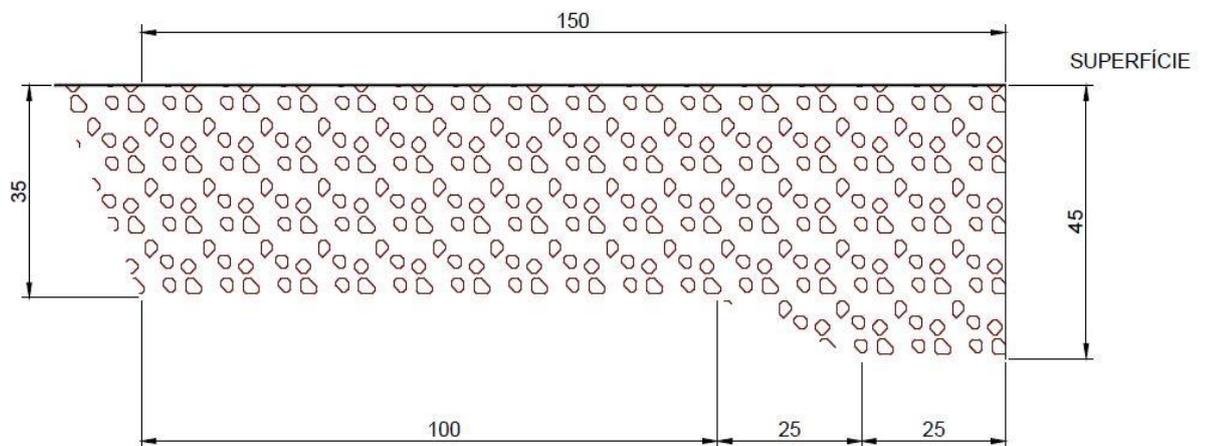
Analisando os estudos realizados pelo ITE, tem-se 15 cm como profundidade inicial, sendo considerado ideal, ao decorrer entre os 30 e 60 m de comprimento, podendo variar até 90 cm, além disso, no seu comprimento final, gradativamente, variando até 100 cm. Para a análise realizada na ERS-431, foram utilizadas 60 cm na etapa intermediária, para melhor desenvolver a forma gradativa do último terço, conforme mostrado na figura 16.



**Figura 23 - Perfil de profundidade modelo III**

Fonte: elaborado pelo autor

Para o modelo obtido pelos australianos, recomenda-se a construção de uma zona de transição de 50 m de comprimento, em que a profundidade vai aumentando gradualmente de 0 até 35 cm. Nos próximos 100 m do comprimento da caixa, a profundidade continua constante e igual a 35 cm; logo depois uma nova zona e transição de 25 metros até atingir uma profundidade de 45 cm, mostrado na figura abaixo.



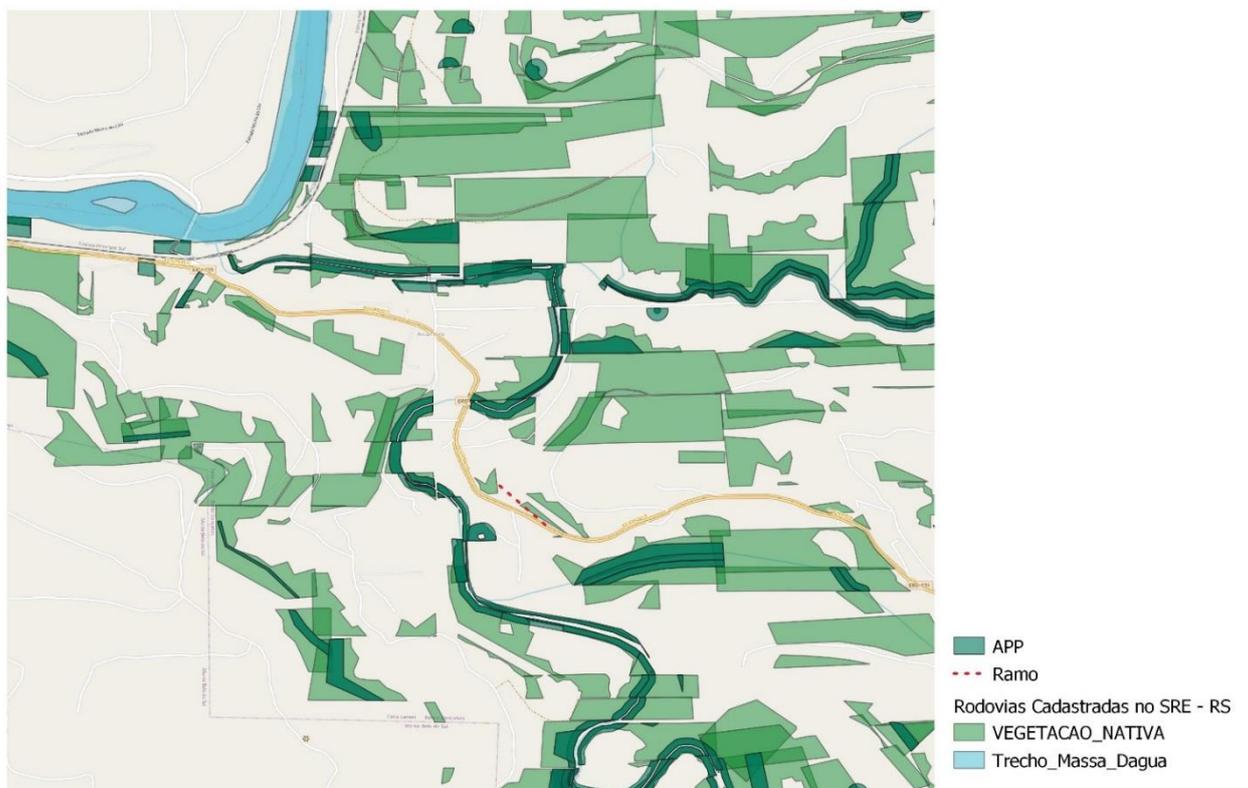
**Figura 24 - Perfil de profundidade modelo IV**

Fonte: elaborado pelo autor

## 5.7. ESTUDOS AMBIENTAIS

As considerações analisadas para o presente estudo de caso tiveram o objetivo de avaliar a situação ambiental da região dos estudos locacionais para esse trecho analisado e foram realizadas observações de imagens de satélite e busca de informações no banco de dados disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), ANA (Agência Nacional de Águas), FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental) para o município de Bento Gonçalves.

Através destes dados, identificou-se a existência de APPs, nascentes, recursos hídricos, sistema viário existente e áreas de interesse ambiental. A maioria dos imóveis na região está cadastrada no CAR, sendo possível assim uma avaliação preliminar das possíveis áreas de desapropriação. Entretanto, destaca-se que os dados constantes no CAR não têm grande precisão, com propriedades sobrepostas e divisas mal definidas.



**Figura 25 - Localização e cadastro ambiental**

Fonte: elaborado pelo autor

A Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) tem como objetivos o planejamento e gerenciamento a partir de um exame de impactos ambientais e de suas alternativas (SANCHEZ, 2015). Além da realização de um inventário fotográfico, resultado de vistoria ambiental criteriosa é primordial salientar e caracterizar a dimensão da área de influência do empreendimento os aspectos físicos, bióticos, antrópicos, objetivando um conhecimento da região antes da implantação do empreendimento, servindo de referência para avaliação dos impactos ambientais advindos das obras na elaboração da área de escape, da operação da rodovia e dos passivos ambientais.

## **5.8. CONCLUSÃO**

Este trabalho apresentou os resultados relacionados com os critérios de projeto de áreas de escape com caixa de retenção e um estudo de operação dos veículos pesados em declives. Os resultados encontrados podem ser eventualmente utilizados como subsídio para o projeto de novos dispositivos de contenção ou até mesmo como diretrizes para se desenvolver métodos mais adequados para análise dos critérios de projeto de áreas de escape. Os resultados encontrados no trabalho confirmam a necessidade de pesquisas futuras sobre o assunto, visto que alguns aspectos possam ser bem mais explorados.

Um ponto a ser analisado é a real influência da massa do veículo na intensidade da dinâmica da desaceleração. Para avaliar essa questão, recomenda-se também que sejam feitos ensaios variando a massa do mesmo caminhão, para então poder constatar com maior exatidão a relação entre massa e desaceleração.

Na análise das velocidades desenvolvidas pelos condutores ao utilizarem a rodovia, a velocidade limite de escorregamento do veículo está diretamente atrelada a alguns parâmetros de projeto da rodovia, como superelevação e raio de curvatura. Posto isso, se executadas de forma indevida podem alterar a velocidade permitida, fazendo com que quando o usuário perca o controle sobre o seu veículo, a velocidade final possa ser maior que a prevista para escorregamento, ocasionado acidentes nas curvas onde o raio apresentado é maior do que o mínimo necessário. Já para a velocidade de tombamento, as variáveis são dependentes de uma composição de fatores como dinâmicos, geometria da rodovia e decisão do veículo de projeto.

A utilização de argila expandida se torna viável tecnicamente por ser um material rentável economicamente, além de apresentar vantagens técnicas por ser um material

incombustível, aumentando a resistência contra incêndios, devido às altas temperaturas que o motor dos veículos pesados pode adquirir com as frenagens. Também proporciona isolamento térmico e acústico, além de aliviar a sobrecarga sobre estruturas.

Com a realização dessa pesquisa foi possível analisar criticamente, problemas geométricos das rodovias bem como suas possíveis soluções. As áreas de escape podem ser uma solução, após o esgotamento de todos os recursos quanto a correção geométrica da via. Recomenda-se que outras soluções de engenharia podem e devem ser avaliadas, tecnicamente, para comparar diretamente com a solução de área de escape em locais com elevado número de acidentes e mortes devido à perda do sistema de freios em pista descendente de serra com rampa de descida acentuada. Recomenda-se, o estudo comparativo ocorra entre pelo menos três alternativas de soluções de engenharia, comparadas isoladamente e/ou associativamente para tomada de decisão da alternativa mais adequada.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Para um projeto de engenharia, é necessário a elaboração dos projetos complementares e assim sugere-se aprofundar os estudos para elaboração dos projetos de:

- Viabilidade econômica, no qual devem ser analisados indicadores de desempenho para viabilidade de projetos como o Valor Presente Líquido (VPL), índice B/C (Benefício/Custo), TIR (Taxa Interna de Retorno) e o período de retorno (*Payback*), além de suas implicações;
- Pavimentação deve ser relacionada como uma questão principal, bem como novos materiais para revestimento, junto a uma análise gerencial de custos em relação a cinasita (argila expandida);
- Estudos de sinalização ostensiva, sendo utilizada em segmentos com histórico de acidentes de trânsito, tais como, zonas urbanas, locais com potencial incidência de neblina e chuva, trechos com muitas curvas, pois é fundamental que o condutor tenha o conhecimento do dispositivo e seja bem-informado a fim de garantir que, caso seja necessária utilizar a área de escape, o seu processo seja realizado da forma mais segura para o usuário.
- Operação de caminhões em declives, visando analisar a estratégia de condução adotada pelos motoristas nos declives, além de capacitação quanto as movimentações do pórtico rolante para a retirada dos veículos que utilizarem as áreas de escape.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELWAHAB, W.; MORRAL, J. F. [1997] **Determining Need for and Location of Truck Escape Ramps**. *Journal of Transportation Engineering*, setlout, p. 350-356.

ANDRETTA, L. N., **Estudo de Viabilidade de Implantação de Área de Escape em Rodovia – Estudo de caso VRS-873**, São Leopoldo, 2021.

**Addressing the challenges of the United Nations Decade of Action for Road Safety (2011-2020): outcome of the second Global High-Level Conference on Road Safety-Time for Results**, (2016).

AKASHI, S. H. M (2011). **Plano de Controle Ambiental**. Trecho da Rodovia RJ-122. RJ, 2011.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. AASHTO, Washington, D.C., 2001.

ARTERIS S/A (2017). **Autopista Régis Bittencourt**. Publicação institucional. Disponível em: <<https://www.arteris.com.br/rodovias/regis-bittencourt>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 10697: **Pesquisas de sinistro de trânsito – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

Azevedo Raia Jr, A., Clóvis Pinto Ferraz, A., Stolte Bezerra, B., & Tiago Bastos, J. (2012). **Prediction of traffic accidents View project**. <https://www.researchgate.net/publication/315541825>

BANDEIRA, C. FLORIANO, E. (2004). **Avaliação de Impacto Ambiental de Rodovias**. ANORGS (Associação de Pesquisa, Educação e Proteção Ambiental no Noroeste do Rio Grande do Sul), p. 03;

BERNUCCI, Liedi Bariani et., al. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**. 1. ed. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2007.

CANALE, A.C. (1989). **Automobilística: dinâmica e desempenho**. São Paulo, Érica. Cap. 5, p.78-99: Dinâmica da Frenagem.

CET. Companhia de Engenharia de Tráfego. **Manual de sinalização urbana**. São Paulo: CET, v. 5. 2013.

CI FLORESTAS (2013). **Cartilha do Código Florestal Brasileiro**. Disponível em: <<http://http://www.ciflorestas.com.br/cartilha/index.html/>>

CLEVELAND, C.D. *et alii*. **Stopping sight distance parameters**. IN:Transportation Research Record 1026. TRB. Washington. 1985. p.13 -23

COBREQ [2002] **Fabricante de pastilhas e lonas de freios**. Informações técnicas. Características essenciais das lonas e pastilhas de freio. Disponível em: <<https://tmdcobreq.com.br/>>

COELHO, L. (2010). **Impacto Ambientais de Rodovias**. Acessado em 10 de agosto de 2022;

COMANDO RODOVIÁRIO DA BRIGADA MILITAR. **Resumo de acidentes**. 2021. Disponível em: <<https://crbm.bm.rs.gov.br/resumo-de-acidentes>>

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Limites legais**. 2005. Disponível em:<<https://www.cnt.org.br/analises-transporte>>

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Normas de Projetos Rodoviários**. 1991. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/27143350-normas-projetos-geometrico.pdf>>

DENIZ, Besiktepe, RODOLFO, Valdes-Vasquez, KELLY, Strong & SCOTT, Shuler (2022) **Improving performance of emergency escape ramps (EERs)**, *Journal of Transportation Safety & Security*, 14:4, 541-561, DOI: [10.1080/19439962.2020.1796864](https://doi.org/10.1080/19439962.2020.1796864)

EJZENBERG, S. (2009). **Os veículos pesados e a segurança no projeto das curvas horizontais de rodovias e vias de trânsito rápido**. [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.3.2009.tde-09092009-132108>

ELVIK, R., HØYE, A., VAA, T., & SØRENSEN, M. (2009). **The Handbook of Road Safety Measures** (R. Elvik, A. Høy, T. Vaa, & M. Sørensen, Eds.). Emerald Group Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/9781848552517>

FERNANDES, Wagner Dambros. **Análise Comparativa Entre os Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do Brasil e o Método da AASHTO**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, *Santa Maria*, 2016.

GILLESPIE, T. D., **Fundamentals of Vehicles Dynamics**, Warrendale – USA: Society of Automotive Engineers, 1992, 470 pg.

GOLD, P. A. **Aplicações de Engenharia Para Reduzir Acidentes**. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 1998, 211p.

HON A YEE BAsc, by W. (1994). **A review to determine the need, location, and design of runaway lanes in british columbia**.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS - ITE - (1992) – **Transportation Planning Handbook** - Englewood Cliffs, Prentice Hall.

JABÔR, Marco. **Drenagem de Rodovias: Estudo Hidrológicos e Projeto de Drenagem**. 2020.

KLAMT, R. A.; SPECHT, L. P; BUDNY, J; KNIERIM, L. S. **A influência da sobrecarga nos pavimentos e a importância da fiscalização de pesagem veicular nas rodovias brasileiras**. Revista CIATEC-UPF, v. 9 (2), p. 52-65. 2017.

LIMPERT, Rudolf **Brake design and safety** / Rudolf Limpert. - 2nd ed. p. cm. Includes bibliographical references and index. ISBN 1-56091 -915-9 I. Automobiles- Brakes- Design and construction. 1. Title.

MAYORA, J. M. P. 1996. **Um Nuevo Enfoque de los Programas de Seguridad Vial**. Tratamiento de Tramos com Concentración de Accidentes y Actuaciones Preventivas, *Rutas*, 53 Abril 1996.

MOBILIZA. **Resumo do manual brasileiro de sinalização de trânsito.**  
<https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/sinalizacao--campanha-sinalize.pdf>.

Acesso em: 10 JUN 2022.

MORALES, Paulo Roberto Dias. **MANUAL PRÁTICO DE DRENAGEM.** 2. ed. Rio de Janeiro: IME, Fundação Ricardo Franco, 2003.

MORAVIA, W. G. *et al.* **Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve.** Cerâmica [online]. 2006, v. 52, n. 322, pp. 193-199. *Epub* 15 Ago 2006. ISSN 1678-4553. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132006000200012>.

MUTCD, **Manual on Uniform Traffic Control Devices**, 2003, **For Streets and Highways, Markings.** US DOT, FHWA, Washington, DC, Part 3.

NODARI, C. T.; LINDAU, L.A. **Auditoria de segurança viária.** Transportes, v. 9, n. 2, p. 48- 66, 2001.

SAMPEDRO TAMAYO, Amílcar. **Procedimento para Avaliação e Análise da Segurança de Tráfego em Vias Expressas Urbanas.** Amílcar Sampedro Tamayo. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

TARAGIN, A., “**Effect of Length of Grade on Speed of Motor Vehicles.**” Proceedings, Highway Research Board, Vol. 25, Washington, D.C., Highways Research Board (1945) pp. 342-353.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Road safety performance: trends and comparative analysis.** Paris: Road Transport and Intermodal Linkage Research Programme (RTR), OECD, 2002b.

TRITSCH, Steven L. **Evaluation of arrester bed performance.** Phoenix: Arizona Department of Transportation, 1987.

WITHEFORD, D. K., CUNAGIN, W. D., American Association of State Highway and Transportation Officials., & United States. Federal Highway Administration. (1992). **Truck escape ramps.** Transportation Research Board, National Research Council.

ZANOLI, P. R. (2003). **Area de escape para caminhões desgovernados**. São Carlos, 2003. 1 28 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo <https://doi.org/10.11606/D.18.2003.tde-08042014-084813>

**ANEXO A**

**ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**  
**SECRETARIA DA SEGURANÇA PÚBLICA**  
**BRIGADA MILITAR**  
**COMANDO RODOVIÁRIO**

**KM(s) COM MAIOR INDICE DE ACIDENTES**

DATA INICIAL 2012-01-01

DATA FINAL 2022-01-01

SEQ	RODOVIA	KM	TOTAL DE ACID	NR VEIC ENV	FERIDOS	MORTOS
1	ERS431	9	33	42	22	13
2	ERS431	27	11	13	7	1
3	ERS431	12	10	14	6	0
4	ERS431	17	9	10	2	0
5	ERS431	5	9	11	13	1
6	ERS431	2	8	11	10	0
7	ERS431	4	8	12	6	0
8	ERS431	32	8	12	3	0
9	ERS431	10	8	11	18	0
10	ERS431	8	7	9	11	1
11	ERS431	6	7	12	6	0
12	ERS431	18	7	8	8	0
13	ERS431	38	6	10	7	0
14	ERS431	30	6	6	5	0
15	ERS431	34	5	7	0	0
16	ERS431	7	5	5	5	1
17	ERS431	29	5	7	5	0
18	ERS431	28	5	7	8	0
19	ERS431	3	5	7	6	0
20	ERS431	39	5	5	7	1
21	ERS431	22	5	8	6	0
22	ERS431	35	4	6	5	0
23	ERS431	26	4	6	1	0
24	ERS431	41	4	5	6	0
25	ERS431	15	3	3	2	0
26	ERS431	25	3	6	1	0
27	ERS431	19	3	4	0	1
28	ERS431	40	3	7	0	0
29	ERS431	1	3	6	3	0
30	ERS431	31	3	4	3	0
31	ERS431	11	3	7	5	0
32	ERS431	21	2	3	2	0
33	ERS431	13	2	3	0	0
34	ERS431	14	2	3	2	0
35	ERS431	43	2	3	0	0
36	ERS431	42	2	2	1	0
37	ERS431	36	1	2	1	0
38	ERS431	37	1	2	2	0
39	ERS431	16	1	1	0	0
40	ERS431	23	1	3	1	1
41	ERS431	24	1	1	1	0
42	ERS431	0	1	2	1	0
43	ERS431	33	1	2	1	0

TOTAIS	222	308	199	20
--------	-----	-----	-----	----

**ANEXO B**

## PLANILHA DE COORDENADAS

Rodovia: ERS-431  
 Trecho: RST/470 - Santa Bárbara  
 Segmento: km: 0+000,00 ao km: 22+107,39

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA								ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°'")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°'")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)	
PP				0+000,000											447170,00000000	6778450,00000000	
1	-0+013,694			0+056,720	160°05'49,25"E	25,200			70,414	143,627	143,627	9°51'57,27"	-13,694	129,933	447192,26310000	6778578,01150000	
2	0+018,657	0+078,657	0+094,483	0+154,483	57°55'35,99"D	75,000	60,000	60,000	15,826	72,452	72,452	209°46'08,02"	-38,063	178,016	447103,87780000	6778423,48760000	
3	0+207,123			0+304,716	5°35'30,04"E	1000,000			97,593	48,835	48,835	267°41'44,01"	52,640	173,928	446930,09080000	6778416,49410000	
4	0+334,486	0+414,486	0+481,124	0+561,124	24°00'18,03"D	350,000	80,000	80,000	66,638	114,555	114,555	262°06'13,97"	29,770	193,160	446738,76170000	6778389,95820000	
5	0+844,074	0+904,074	0+959,886	1+019,886	22°07'06,01"E	300,000	60,000	60,000	55,811	88,723	88,723	286°06'32,00"	282,950	486,229	446271,62430000	6778524,86900000	
6	1+243,806	1+303,806	1+326,814	1+386,814	27°58'36,00"D	170,000	60,000	60,000	23,008	72,537	72,537	263°59'25,99"	223,920	385,181	445888,56030000	6778484,54350000	
7	1+504,074	1+544,074	1+563,742	1+603,742	20°06'36,03"D	170,000	40,000	40,000	19,668	50,204	50,204	291°58'02,00"	117,260	240,002	445665,98320000	6778574,32240000	
8	1+603,742	1+633,742	1+660,082	1+690,082	41°45'36,02"E	77,300	30,000	30,000	26,340	44,653	44,653	312°04'38,03"	0,000	94,857	445595,57620000	6778637,88920000	
9	1+713,232	1+743,232	1+776,431	1+806,431	19°34'24,02"D	185,000	30,000	30,000	33,200	46,942	46,942	270°19'02,01"	23,150	114,746	445480,83240000	6778638,52450000	
10	1+904,961	1+944,961	1+993,109	2+033,109	24°02'59,99"E	210,000	40,000	40,000	48,148	64,794	64,794	289°53'26,03"	98,530	210,267	445283,10940000	6778710,06240000	
11	2+129,979			2+313,698	13°53'12,93"D	758,000			183,718	92,312	92,312	265°50'26,04"	96,870	253,976	445029,80240000	6778691,64100000	
12	2+728,008			2+770,882	6°29'17,80"E	378,600			42,873	21,460	21,460	279°43'38,97"	414,310	528,082	444509,31330000	6778780,86690000	
13	2+770,882	2+810,882	2+815,561	2+855,561	28°26'37,75"D	90,000	40,000	40,000	4,679	42,965	42,965	273°14'21,18"	0,000	64,425	444444,99170000	6778784,50720000	
14	2+937,391			3+024,943	8°21'37,91"E	600,000			87,551	43,853	43,853	301°40'58,93"	81,830	168,648	444301,47780000	6778873,08450000	
15	3+378,643	3+438,643	3+466,804	3+526,804	20°12'18,05"E	250,000	60,000	60,000	28,161	74,636	74,636	293°19'21,01"	353,700	472,189	443867,87080000	6779060,02710000	
16	3+589,794	3+669,794	3+696,941	3+776,941	27°54'18,03"D	220,000	80,000	80,000	27,148	94,915	94,915	273°07'02,96"	62,990	232,541	443635,67430000	6779072,67350000	
17	3+876,891	3+926,891	3+950,576	4+000,576	60°18'41,98"E	70,000	50,000	50,000	23,685	66,423	66,423	301°01'20,99"	99,950	261,289	443411,75880000	6779207,33520000	
18	4+189,466	4+249,466	4+279,546	4+339,546	30°21'35,95"D	170,000	60,000	60,000	30,080	76,332	76,332	240°42'39,01"	188,890	331,646	443122,50970000	6779045,08810000	
19	4+399,476	4+459,476	4+505,458	4+565,458	33°44'06,09"D	180,000	60,000	60,000	45,982	84,801	84,801	271°04'14,96"	59,930	221,064	442901,48450000	6779049,21940000	
20	4+624,938	4+684,938	4+706,710	4+766,710	18°01'12,03"E	260,000	60,000	60,000	21,772	71,305	71,305	304°48'21,04"	59,480	215,586	442724,46880000	6779172,27530000	
21	4+923,120	4+963,120	4+983,568	5+023,568	34°38'01,99"D	100,000	40,000	40,000	20,448	51,360	51,360	286°47'09,02"	156,410	279,075	442457,28530000	6779252,87070000	
												321°25'11,01"	0,200	191,644			

## PLANILHA DE COORDENADAS

Rodovia: ERS-431  
 Trecho: RST/470 - Santa Bárbara  
 Segmento: km: 0+000,00 ao km: 22+107,39

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA								ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°''')	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°''')	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)	
22	5+023,768	5+073,768	5+234,715	5+284,715	56°12'56,03"E	215,000	50,000	50,000	160,947	140,084	140,084						
23	5+402,514	5+442,514	5+464,852	5+504,852	35°42'59,98"D	100,000	40,000	40,000	22,337	52,407	52,407	265°12'14,98"	117,800	310,291	442337,77390000	6779402,68580000	
24	5+504,852	5+534,852	5+559,887	5+589,887	32°00'47,88"E	98,500	30,000	30,000	25,036	43,354	43,354	300°55'14,97"	0,000	95,761	442028,56950000	6779376,74380000	
25	5+596,988	5+626,988	5+653,429	5+683,429	62°11'23,94"D	52,000	30,000	30,000	26,442	46,754	46,754	268°54'27,08"	7,100	97,209	441946,41820000	6779425,95090000	
26	5+728,150			5+776,698	71°19'24,04"E	39,000			48,548	27,985	27,985	268°54'27,08"	7,100	97,209	441849,22700000	6779424,09750000	
27	5+805,428			5+833,302	9°58'53,91"D	160,000			27,874	13,972	13,972	331°05'51,02"	44,720	119,459	441791,48980000	6779528,67750000	
28	5+833,302			5+903,554	3°19'06,02"E	1213,000			70,252	35,136	35,136	259°46'26,98"	28,730	70,687	441721,92540000	6779516,12850000	
29	5+903,554			5+978,665	8°12'23,84"E	524,400			75,111	37,620	37,620	269°45'20,89"	0,000	49,108	441672,81770000	6779515,91920000	
30	6+079,346			6+090,209	71°08'06,12"D	8,750			10,863	6,257	6,257	266°26'14,87"	0,000	72,756	441600,20240000	6779511,39830000	
31	6+096,609	6+136,609	6+143,115	6+183,115	10°39'30,25"E	250,000	40,000	40,000	6,506	43,341	43,341	258°13'51,03"	100,680	144,557	441458,68420000	6779481,91310000	
32	6+202,745			6+260,266	20°35'54,03"D	160,000			57,521	29,075	29,075	329°21'57,15"	6,400	55,998	441430,15040000	6779530,09560000	
33	6+260,266			6+370,106	9°11'35,91"E	684,560			109,840	55,038	55,038	318°42'26,89"	19,630	92,045	441369,40950000	6779599,25370000	
34	6+370,106			6+459,457	11°38'06,07"D	440,000			89,351	44,829	44,829	339°18'20,93"	0,000	84,113	441339,68570000	6779677,93960000	
35	6+482,016			6+597,048	4°18'48,19"E	1528,000			115,032	57,543	57,543	330°06'45,02"	0,000	99,868	441289,92180000	6779764,52540000	
36	6+597,047			6+679,575	8°35'50,19"D	550,000			82,528	41,342	41,342	341°44'51,09"	22,559	124,932	441250,79250000	6779883,17150000	
37	6+694,215	6+734,215	6+767,472	6+807,472	41°58'24,04"E	100,000	40,000	40,000	33,257	58,588	58,588	337°26'02,89"	-0,001	98,884	441212,84630000	6779974,48470000	
38	6+835,953	6+875,953	6+904,299	6+944,299	23°02'05,77"D	170,000	40,000	40,000	28,346	54,712	54,712	346°01'53,09"	14,640	114,570	441185,19030000	6780085,66650000	
39	6+944,314			7+009,791	8°01'16,41"E	467,700			65,477	32,792	32,792	304°03'29,05"	28,480	141,780	441067,72970000	6780165,06800000	
40	7+024,666	7+064,666	7+071,335	7+111,335	24°18'30,94"E	110,000	40,000	40,000	6,669	43,799	43,799	327°05'34,82"	0,016	87,519	441020,18270000	6780238,54480000	
41	7+133,184			7+290,839	25°05'29,52"D	360,000			157,655	80,112	80,112	319°04'18,40"	14,876	91,467	440960,26160000	6780307,65080000	
42	7+315,518			7+363,298	5°45'48,17"E	475,000			47,780	23,910	23,910	294°45'47,46"	21,849	145,760	440827,90470000	6780368,70510000	
43	7+363,298	7+398,298	7+420,229	7+455,229	19°39'00,36"D	166,000	35,000	35,000	21,931	46,295	46,295	319°51'16,99"	24,679	128,701	440744,92740000	6780467,08590000	
												314°05'28,82"	0,000	70,205	440694,50420000	6780515,93460000	
												333°44'29,18"	31,059	115,289			

## PLANILHA DE COORDENADAS

Rodovia: ERS-431  
 Trecho: RST/470 - Santa Bárbara  
 Segmento: km: 0+000,00 ao km: 22+107,39

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA								ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°'")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°'")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)	
44	7+486,289	7+516,289	7+530,342	7+560,342	36°03'30,26"E	70,000	30,000	30,000	14,054	37,935	37,935				440643,49770000	6780619,32660000	
45	7+599,392	7+639,392	7+657,541	7+697,541	16°39'30,00"E	200,000	40,000	40,000	18,149	49,323	49,323	297°40'58,91"	39,050	126,308	440531,64830000	6780678,00660000	
46	7+706,291	7+736,291	7+747,078	7+777,078	22°15'24,16"D	105,000	30,000	30,000	10,788	35,714	35,714	281°01'28,92"	8,750	93,787	440439,59210000	6780695,94170000	
47	7+777,078	7+812,078	7+831,437	7+866,437	16°34'00,12"E	188,000	35,000	35,000	19,359	44,905	44,905	303°16'53,08"	0,000	80,619	440372,19580000	6780740,18150000	
48	7+891,147	7+931,147	7+938,571	7+978,571	13°35'09,73"E	200,000	40,000	40,000	7,424	43,857	43,857	286°42'52,96"	24,710	113,472	440263,51840000	6780772,81670000	
49	8+105,209	8+165,209	8+300,534	8+360,534	39°58'07,79"E	280,000	60,000	60,000	135,325	132,009	132,009	273°07'43,23"	126,638	302,503	439961,46590000	6780789,32690000	
50	8+317,619			8+505,559	17°12'05,52"D	626,000			187,940	94,682	94,682	233°09'35,44"	-42,914	183,777	439814,38730000	6780679,13720000	
51	8+489,273			8+582,792	13°49'39,89"E	387,500			93,519	46,988	46,988	250°21'40,97"	-16,287	125,383	439696,29750000	6780636,99760000	
52	8+582,834	8+642,834	8+733,499	8+793,499	49°19'41,94"D	175,000	60,000	60,000	90,665	110,722	110,722	236°32'01,08"	0,043	157,753	439564,69870000	6780550,00530000	
53	8+821,889	8+861,889	8+870,191	8+910,191	18°26'59,91"D	150,000	40,000	40,000	8,302	44,422	44,422	285°51'43,02"	28,390	183,534	439388,15310000	6780600,16890000	
54	8+974,231			9+069,246	9°04'23,92"E	600,000			95,015	47,607	47,607	304°18'42,93"	64,040	156,070	439259,24260000	6780688,14500000	
55	9+200,236	9+240,236	9+245,059	9+285,059	42°48'11,97"D	60,000	40,000	40,000	4,824	43,876	43,876	295°14'19,01"	130,990	222,472	439058,00740000	6780783,00480000	
56	9+395,180	9+475,180	9+548,193	9+628,193	43°50'06,03"D	200,000	80,000	80,000	73,013	120,953	120,953	338°02'30,98"	110,120	274,949	438955,19640000	6781038,00820000	
57	9+770,593	9+810,593	9+825,437	9+865,437	62°50'47,99"E	50,000	40,000	40,000	14,844	51,252	51,252	21°52'37,01"	142,401	314,606	439072,42300000	6781329,95790000	
58	9+997,068	10+087,068	10+143,134	10+233,134	32°11'18,07"E	260,000	90,000	90,000	56,066	120,346	120,346	319°01'49,02"	131,630	303,228	438873,60860000	6781558,91200000	
59	10+308,314	10+368,314	10+392,899	10+452,899	18°38'23,97"E	260,000	60,000	60,000	24,586	72,751	72,751	286°50'30,95"	75,180	268,277	438616,83900000	6781636,64040000	
60	10+672,630	10+732,630	10+757,568	10+817,568	40°33'18,08"D	120,000	60,000	60,000	24,938	74,734	74,734	268°12'06,98"	219,730	367,216	438249,80400000	6781625,11830000	
61	10+863,108	10+903,108	10+919,582	10+959,582	18°29'24,16"E	175,000	40,000	40,000	16,475	48,538	48,538	308°45'25,07"	45,540	168,812	438118,16260000	6781730,79800000	
62	10+968,433	11+008,433	11+012,430	11+052,430	25°12'30,17"D	100,000	40,000	40,000	3,997	42,483	42,483	290°16'00,91"	8,850	99,871	438024,47450000	6781765,39280000	
63	11+052,430	11+092,430	11+125,649	11+165,649	36°57'42,10"E	113,500	40,000	40,000	33,219	58,110	58,110	315°28'31,08"	0,000	100,592	437953,93750000	6781837,10990000	
64	11+525,029			11+624,862	3°48'47,98"E	1500,000			99,833	49,935	49,935	278°30'48,98"	359,380	467,424	437491,66370000	6781906,30940000	
65	11+763,692			11+928,788	23°38'54,01"D	400,000			165,097	83,740	83,740	274°42'01,00"	138,830	272,505	437220,07470000	6781928,63940000	
												298°20'55,00"	20,130	143,372			

## PLANILHA DE COORDENADAS

Rodovia: ERS-431  
 Trecho: RST/470 - Santa Bárbara  
 Segmento: km: 0+000,00 ao km: 22+107,39

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA							ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°'")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°'")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)
66	11+948,918			12+027,807	7°31'59,96"E	600,000			78,889	39,501	39,501	290°48'55,04"	187,280	301,270	437093,89690000	6781996,71730000
67	12+215,087			12+363,789	8°31'11,93"D	1000,000			148,702	74,488	74,488	299°20'06,97"	271,380	418,379	436812,29060000	6782103,77550000
68	12+635,169			12+779,491	13°46'54,03"D	600,000			144,321	72,511	72,511	313°07'01,00"	150,900	283,722	436447,56140000	6782308,74730000
69	12+930,391			13+050,609	11°28'47,93"E	600,000			120,218	60,311	60,311	301°38'13,07"	0,000	125,285	436240,45560000	6782502,66840000
70	13+050,609			13+180,009	12°52'17,92"D	576,000			129,400	64,973	64,973	314°30'31,00"	524,030	636,311	436133,78970000	6782568,38460000
71	13+704,039			13+798,637	2°42'36,05"E	2000,000			94,597	47,307	47,307	311°47'54,95"	71,879	179,399	435680,00760000	6783014,44910000
72	13+870,516			13+990,840	5°44'42,12"D	1200,000			120,324	60,212	60,212	317°32'37,06"	42,929	178,221	435546,26700000	6783134,02110000
73	14+033,769			14+183,868	4°00'00,07"E	2150,000			150,099	75,080	75,080	313°32'36,99"	355,460	469,962	435425,96250000	6783265,51130000
74	14+539,327			14+617,840	12°51'09,99"E	350,000			78,513	39,422	39,422	300°41'27,00"	134,920	260,061	435085,31070000	6783589,27090000
75	14+752,760			14+923,951	7°32'41,99"E	1300,000			171,191	85,719	85,719	293°08'45,01"	0,000	168,893	434861,67530000	6783722,00750000
76	14+923,951			15+090,119	6°31'48,02"E	1458,000			166,168	83,174	83,174	286°36'56,99"	228,290	443,159	434706,37660000	6783788,39490000
77	15+318,409	15+378,409	15+511,262	15+571,262	44°01'21,01"E	251,000	60,000	60,000	132,853	131,695	131,695	242°35'35,98"	7,680	215,473	434281,72200000	6783915,11770000
78	15+578,942	15+628,942	15+677,300	15+727,300	36°21'29,99"E	155,000	50,000	50,000	48,359	76,098	76,098	206°14'05,99"	162,810	312,533	434090,43370000	6783815,93500000
79	15+890,110			16+037,215	6°14'35,92"E	1350,000			147,105	73,625	73,625	199°59'30,07"	61,760	199,325	433952,27740000	6783535,59670000
80	16+098,975			16+226,777	4°52'54,09"E	1500,000			127,802	63,940	63,940	195°06'35,97"	323,110	458,248	433884,13150000	6783348,28280000
81	16+549,887			16+691,331	16°12'29,94"E	500,000			141,444	71,198	71,198	178°54'06,04"	195,711	347,018	433764,67880000	6782905,87820000
82	16+887,042			17+046,728	11°26'12,07"E	800,000			159,686	80,109	80,109	167°27'53,97"	164,410	296,827	433771,33050000	6782558,92420000
83	17+211,138			17+314,986	17°00'00,08"D	350,000			103,847	52,308	52,308	184°27'54,05"	50,721	145,714	433835,75270000	6782269,17240000
84	17+365,706			17+450,871	9°45'32,93"D	500,000			85,165	42,686	42,686	194°13'26,97"	276,026	464,840	433824,40880000	6782123,90040000
85	17+726,897			18+016,325	19°30'33,93"D	850,000			289,428	146,129	146,129	213°44'00,90"	121,284	319,413	433710,19000000	6781673,31110000
86	18+137,609			18+241,516	5°57'12,29"D	1000,000			103,907	52,000	52,000	219°41'13,20"	313,006	532,955	433532,80990000	6781407,67830000
87	18+554,522	18+654,522	18+777,654	18+877,654	44°05'04,82"D	290,000	100,000	100,000	123,133	167,949	167,949	263°46'18,02"	175,294	415,599	433192,46860000	6780997,54590000

## PLANILHA DE COORDENADAS

Rodovia: ERS-431  
 Trecho: RST/470 - Santa Bárbara  
 Segmento: km: 0+000,00 ao km: 22+107,39

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA							ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°'")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°'")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)
88	19+052,949			19+195,858	22°07'47,93"D	370,000			142,909	72,356	72,356				432779,32270000	6780952,45720000
89	19+224,708			19+392,768	19°15'29,96"E	500,000			168,061	84,830	84,830	285°54'05,95"	28,850	186,037	432600,40510000	6781003,42880000
90	19+772,547			20+034,521	15°00'36,02"D	1000,000			261,974	131,741	131,741	266°38'35,99"	379,779	596,351	432005,07720000	6780968,51160000
91	20+130,390			20+253,436	9°23'59,98"E	750,000			123,046	61,661	61,661	281°39'12,01"	95,869	289,272	431721,76810000	6781026,94150000
92	20+253,436			20+379,310	9°42'23,99"D	743,000			125,874	63,088	63,088	272°15'12,02"	0,000	124,749	431597,11530000	6781031,84640000
93	20+468,951			20+606,448	20°43'53,96"D	380,000			137,498	69,509	69,509	281°57'36,01"	89,641	222,237	431379,70210000	6781077,90040000
94	20+606,448			20+774,157	16°49'41,98"E	571,000			167,708	84,462	84,462	302°41'29,97"	0,000	153,971	431250,12170000	6781161,06290000
95	20+963,366			21+151,526	29°56'47,98"D	360,000			188,160	96,282	96,282	285°51'47,99"	189,209	369,953	430894,25750000	6781262,18730000
96	21+182,116			21+329,721	12°04'53,99"E	700,000			147,605	74,077	74,077	315°48'35,97"	30,590	200,949	430754,18770000	6781406,27450000
97	21+329,721	21+379,721	21+414,016	21+464,016	26°06'23,98"D	185,000	50,000	50,000	34,295	68,007	68,007	303°43'41,98"	0,000	142,085	430636,01880000	6781485,16780000
98	21+499,386			21+629,764	10°40'17,94"E	700,000			130,379	65,379	65,379	329°50'05,96"	35,369	168,755	430551,22070000	6781631,07040000
99	21+888,484	21+928,484	21+976,076	22+016,076	24°58'05,92"D	201,000	40,000	40,000	47,592	64,569	64,569	319°09'48,03"	258,720	388,668	430297,06900000	6781925,12740000
100	22+016,217			22+072,241	74°28'34,16"D	43,100			56,024	32,760	32,760	344°07'53,94"	0,141	97,470	430270,41800000	6782018,88300000
101	22+072,274			22+107,386	8°10'16,28"D	246,200			35,112	17,586	17,586	58°36'28,10"	0,034	50,379	430313,42280000	6782045,12520000
PF	22+107,390											66°46'44,39"	0,003	17,589	430329,58700000	6782052,06020000

## APÊNDICE A

Tabela 6 - Quadro resumo de dimensionamento

Est. (km)	PI	V <sub>Decl.</sub>	V <sub>TOMB.</sub>	V <sub>ESC.</sub>	q	i (%)	a (m/s <sup>2</sup> )	IntTan (m)	L1 (m)	L2 (m)
6+190,00	30	39,38	71,16	90,86	-8,20	-14,415	-3,83	6,40	79,74	80,70
6+300,00	31	37,56	56,93	72,69	-6,69	-11,723	-3,58	19,63	51,03	51,33
6+410,00	32	37,56	117,75	150,35	-8,27	-14,526	-3,84	0,00	218,35	221,04
6+505,00	33	37,56	94,40	120,54	-7,41	-13,000	-3,70	0,00	140,34	141,54
6+605,00	34	35,96	175,92	224,62	-0,87	-1,524	-2,60	22,56	487,38	485,40
6+710,00	35	35,96	105,55	134,76	-4,72	-8,256	-3,25	0,00	175,43	175,48
7+100,00	36	34,59	45,00	57,46	-5,06	-8,850	-3,31	14,64	31,90	31,93
7+500,00	37	31,70	58,68	74,92	-5,37	-9,400	-3,36	28,48	54,22	54,32
7+700,00	38	31,70	97,33	124,27	-5,91	-10,352	-3,45	0,02	149,18	149,67
8+340,00	39	30,36	47,20	60,27	-2,05	-3,583	-2,80	14,88	35,09	34,96
8+520,00	40	27,80	85,39	109,03	-5,59	-9,794	-3,40	21,85	114,83	115,10
<b>8+860,00</b>	<b>41</b>	<b>24,40</b>	<b>98,09</b>	<b>125,24</b>	<b>-6,84</b>	<b>-11,988</b>	<b>-3,60</b>	<b>24,68</b>	<b>151,51</b>	<b>152,46</b>
9+695,00	42	24,40	57,98	74,04	0,00	0,000	-2,45	0,00	52,95	52,73
9+935,00	43	21,50	37,65	48,08	1,81	3,167	-2,14	31,06	22,33	22,25
9+995,00	44	16,25	63,65	81,26	-0,50	-0,871	-2,54	39,05	63,79	63,53
10+500,00	45	14,87	46,12	58,88	0,00	0,000	-2,45	8,75	33,49	33,35

Fonte: elaborado pelo autor