



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE DRENAGEM
SUPERFICIAL EM RODOVIAS RURAIS QUANTO
À SEGURANÇA DE CIRCULAÇÃO**

JÚLIA ALVES PORTO

ORIENTADORA: MICHELLE ANDRADE

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM
TRANSPORTES**

BRASÍLIA / DF: JULHO/2018

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE DRENAGEM
SUPERFICIAL EM RODOVIAS RURAIS QUANTO À
SEGURANÇA DE CIRCULAÇÃO**

JÚLIA ALVES PORTO

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

APROVADA POR:

**MICHELLE ANDRADE, Dra (UnB)
(ORIENTADOR)**

**PASTOR WILLY GONZALES TACO, Dr (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**FABIO ZANCHETTA, Dr (UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 05 de JULHO de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

PORTO, JÚLIA ALVES

Avaliação de Dispositivos de Drenagem Superficial em Trechos Rodoviários do Distrito Federal quanto à Segurança de Circulação. Distrito Federal, 2018.

xiv, 65p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

Trabalho de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Segurança Viária | 2. Elementos de Drenagem |
| 3. Projeto Geométrico | 4. Drenagem Superficial |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PORTO, J. A. (2018). Avaliação de Dispositivos de Drenagem Superficial em Rodovias Rurais quanto à Segurança de Circulação. Trabalho de Projeto Final. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 70p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Julia Alves Porto

TÍTULO DO TRABALHO DE PROJETO FINAL: Avaliação de Dispositivos de Drenagem Superficial em Rodovias Rurais quanto à Segurança de Circulação

GRAU/ANO: Bacharel em Engenharia Civil/2018.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Júlia Alves Porto

SQSW 304 Bloco E Ap 602, Sudoeste.

CEP: 70673.405 – Brasília/DF – Brasil.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha mãe, por tudo.

E ao meu irmão, pelo restante.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, Michelle de Andrade, pelo apoio e disponibilidade, principalmente em momentos de crise e angústia.

Em segundo lugar, agradecer à família. Minha mãe, Maria da Conceição, por tudo que ela fez por mim: pelo carinho, pela companhia, pelas broncas, pela dedicação. E também pelo apoio direto a este trabalho e todas as crises que vieram com ele. A meu irmão, Luís, que se disponibilizou a usar de sua expertise como o grande acadêmico que é para me ajudar a arrematar o texto. Ao meu pai, Glauco, sua companheira, Maíra, minha avó, Elena, meu primo, Lucas, pelo apoio, companhia e compreensão.

À minha grande amiga Maria Inês, pelas broncas e também pelo carinho.

Aos meus companheiros de faculdade, em especial Ian, Mineira e Gustavo, de cuja amizade eu tenho maior orgulho e o maior prazer.

Às amigas e aos amigos que vieram no caminho, da Chapada dos Veadeiros ao SLU.

A quem me acompanha de longa data, como Gabi e Rafa, e a querida Maria Clara, que foi uma amiga muito especial durante esses seis anos de faculdade.

Àqueles que me abriram as portas e oportunidades, professor João Henrique, professor Márcio, Andrea Portugal, Alexandre Nogueira. Por mais que sigamos caminhos diferentes, nunca vou me esquecer desse gesto de confiança.

E, por fim, à banca, os professores Pastor e Fábio, cujas opiniões e comentários na primeira etapa desse projeto foram significativas para que ele chegasse à sua conclusão.

RESUMO

A ocorrência de acidentes de trânsito é um problema de grande gravidade em função da complexidade do fenômeno e das consequências que atingem a sociedade em diversos aspectos. A redução de acidentes de trânsito é elemento de constante reflexão em alguns países, tanto que, mesmo apresentando baixos índices de fatalidades em trânsito quando comparados à indicadores mundiais, promovem políticas para incrementar a segurança viária continuamente. A exemplo dessas políticas, cita-se o conceito da “rodovia que perdoa”, que busca elementos de projetos para tornar tanto o traçado quanto o seu entorno, seguros. No Brasil, métodos similares a este são normatizados pela NBR 15.486, cuja primeira versão data de 2007 e a segunda revisão, de 2016. Dentre os elementos que essa norma destaca, estão aqueles de drenagem superficial. Eles são dispositivos adjacentes à rodovia em quase toda a sua extensão e podem ser potenciais agravantes de acidentes. Este trabalho busca averiguar se os projetos de drenagem superficial em rodovias contratadas pelo DNIT seguem a norma brasileira. Foi possível observar que os projetos brasileiros seguem, via de regra, o Álbum de Projetos-Tipo do DNIT, que não está de acordo com as recomendações do Manual de Drenagem do DNIT e tampouco com a NBR 15.486. Da análise realizada foi proposto um redesenho do elemento padrão de drenagem superficial, mais especificamente as sarjetas, que formam um canal paralelo à via. Avaliou-se também o custo adicional de implementação das novas configurações de sarjetas, atendendo ao disposto nas normas de segurança, o que resultou em um custo 40% superior. A presença de referências nacionais em desacordo causa dificuldade ao projetista novato no ramo de trabalho, e o mau dimensionamento dos elementos de drenagem são agravantes de acidentes viários. Recomenda-se estudos sobre novos materiais e elementos de drenagem superficial seguros, e estudo da viabilidade de implantação das sarjetas propostas em face ao custo dos acidentes.

Palavras-chave: rodovia, segurança viária, rodovias que perdoam, NBR 15.486, drenagem superficial, sarjeta.

ABSTRACT

The occurrence of traffic accidents is a serious problem due to the complexity of the phenomenon and the consequences that affect society in several aspects. The reduction of traffic accidents is an element of constant reflection in some countries, so that in these countries, even with low rates of fatalities in transit when compared to global indicators, they promote policies to increase road safety continuously. As in the case of these policies, the concept of "forgiving highway" is quoted, which seeks out elements of projects to make both the route and its surroundings safe. In Brazil, similar methods are standardized by NBR 15.486, whose first version dates from 2007 and the second revision, from 2016. Among the elements that this standard highlight, are those of surface drainage. They are devices adjacent to the highway almost all their length and can be potential aggravators of accidents. This work intends to verify if Brazilian surface drainage projects for roadways are in accordance with the national norm. It was possible to observe that the Brazilian projects follow, as a rule, the DNIT Project Album-Type, which is not in accordance with the recommendations of the DNIT Drainage Manual nor with NBR 15.486. From the analysis carried out, a redesign of the standard surface drainage element was proposed, more specifically the gutters, which form a channel parallel to the path. The additional cost of implementing the new gutter configurations was also evaluated, considering the safety standards, which resulted in a 40% higher cost. The existence of national references in disagreement causes difficulty to the new engineer in their work field, and a poor design of the drainage elements aggravate road accidents. It is recommended further studies over new materials and elements of safe surface drainage, and viability studies of the implantation of the proposed gutters in face of the accidentality cost.

Key words: highway, road safety, forgiving roadside, NBR 15.486, surface drainage, gullies

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE SIGLAS	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO	2
1.2 PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.4 JUSTIFICATIVA	3
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 ACIDENTALIDADE DE RODOVIAS	5
2.1.1 CAUSA E PREVENÇÃO DE ACIDENTES.....	12
2.1.2 PROGRAMAS DE SEGURANÇA VIÁRIA NO MUNDO.....	13
2.1.3 CRÍTICAS E PROBLEMAS DAS “RODOVIAS QUE PERDOAM” ...	16
2.1.4 RELAÇÃO ENTRE ELEMENTOS DE DRENAGEM E ACIDENTES	17
2.2 NORMAS QUE SEGUEM O CONCEITO DE RODOVIAS QUE PERDOAM	18
2.2.1 A NORMA BRASILEIRA: NBR 15.486	18
2.2.2 A NBR 15.486 E OS ELEMENTOS DE DRENAGEM.....	21
2.2.3 NORMAS INTERNACIONAIS E OS ELEMENTOS DE DRENAGEM.. ..	24
2.3 ELEMENTOS DE DRENAGEM.....	28
2.3.1 VALETAS	28

2.3.2	SARJETAS	31
2.3.3	ÁLBUM DE PROJETO-TIPO	37
3	MÉTODO	38
3.1	CONFERÊNCIA DE PROJETOS	38
3.2	ÁLBUM DE PROJETOS-TIPO	40
3.3	PROPOSIÇÃO DE NOVOS MODELOS	42
4	RESULTADOS	45
4.1	COMPARAÇÃO ENTRE EDIÇÕES DO ÁLBUM DE PROJETOS-TIPO DO DNIT	45
4.2	COMPARAÇÃO ENTRE ELEMENTOS PADRONIZADOS E RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS	47
4.3	SUGESTÕES DE REDESENHO DOS ELEMENTOS DE DRENAGEM SUPERFICIAL	49
4.3.1	SARJETAS TRIANGULARES	49
4.3.2	SARJETAS TRAPEZOIDAIS: ALTERNATIVA 1	50
4.3.3	SARJETAS TRAPEZOIDAIS: ALTERNATIVA 2	51
4.4	COMPARAÇÃO DE CUSTO	53
4.5	COMPARAÇÃO COM NORMAS INTERNACIONAIS	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	APÊNDICE A: MEMORIAL DE CÁLCULO	62
	APÊNDICE B: CUSTO UNITÁRIO DA SARJETA	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Custo total e médio por gravidade de acidente em Rodovias Federais	6
Tabela 2.2: Número de acidentes por tipo e gravidade no Brasil em 2010.....	8
Tabela 2.3: Número de acidentes por tipo, no Brasil em 2010	9
Tabela 2.4: Número de acidentes por tipo e gravidade no Distrito Federal em 2010	11
Tabela 2.5: Cálculo da largura da zona livre, em metros	20
Tabela 2.6: Principais alterações da revisão da NBR 15.486.....	21
Tabela 2.7: Mudanças na norma 15.486 quanto aos elementos de drenagem.....	24
Tabela 3.1: Dados das rodovias usadas para estudo de caso	39
Tabela 4.1: Mudanças ocorridas nas atualizações do Álbum de Projetos-Tipo de Elementos de Drenagem do DNIT	46
Tabela 4.2: Resultado para meios-fios de concreto	49
Tabela 4.3: Comparação de custos por metro linear entre sarjetas atuais e propostas usando a Alternativa 1 para as sarjetas trapezoidais.....	53
Tabela 4.4: Comparação de custos por metro linear entre sarjetas atuais e propostas usando a Alternativa 2 para as sarjetas trapezoidais.....	53
Tabela A.1: Dimensões das sarjetas padronizadas pelo Álbum de Projetos-tipo do DNIT (2018)	62
Tabela B.1: Custo por metro linear das sarjetas propostas com base nas recomendações de segurança brasileiras	66
Tabela B.2: Valores unitários dos insumos por tipo de sarjeta	68
Tabela B.3: Escolha dos insumos de referência	69
Tabela B.4: Cálculo dos consumos unitários de insumo por tipo de sarjeta proposta ...	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Número mundial de mortes por acidentes de trânsito.....	5
Figura 2.2: Vitimados por acidente de trânsito, segundo a faixa etária e o sexo no ano de 2010	7
Figura 2.3: Acidentes de trânsito segundo o tipo e gravidade para o ano de 2010	8
Figura 2.4: Número de acidentes no Brasil por tipo (2010)	10
Figura 2.5: Número de acidentes por tipo e uso do solo, no Distrito Federal (2010)	10
Figura 2.6: Número de acidentes por tipo e gravidade no Distrito Federal (2010).....	11
Figura 2.7: Tendência nas mortes em acidentes de trânsito reportadas.....	15
Figura 2.8: Ábaco para cálculo da largura da zona livre	19
Figura 2.9: Seção triangular preferencial para canais com mudança abrupta de declividade	22
Figura 2.10: Seção trapezoidal preferencial para canais com mudança gradual de declividade.....	23
Figura 2.11: Desenho nº 3: sistema de drenagem a menos de 1 m da plataforma da rodovia	26
Figura 2.12: Desenho nº 5: canal a céu aberto	26
Figura 2.13: Exemplo de canal de drenagem traspassável nos Estados Unidos.....	27
Figura 2.14: Esquema de valeta de proteção de corte	29
Figura 2.15: Valeta de proteção de corte	29
Figura 2.16: Esquema de valeta de proteção de aterro	29
Figura 2.17: Valeta de proteção de aterro	30
Figura 2.18: Sistema de drenagem incluindo sarjetas e bueiro	31
Figura 2.19: Execução de sarjeta de canteiro central	32
Figura 2.20: Esquema de sarjeta retangular.....	34
Figura 2.21: Bacia de contribuição para a sarjeta.....	34
Figura 2.22: Vistas do pavimento para dimensionamento das sarjetas de aterro	36
Figura 2.23: Direção de maior declive	36
Figura 3.1: Esquema metodológico	38

Figura 3.2: Seção triangular preferencial para canais com mudança abrupta de declividade (área contida pelo gráfico).....	41
Figura 3.3: Seção retangular ou trapezoidal preferencial para canais com mudança gradual de declividade (área contida pelos dois gráficos).....	42
Figura 4.1: Exemplo de modificação na inclinação do meio-fio entre as edições mais antigas e a mais recente do Álbum de Projetos-Tipo de Elementos de Drenagem do DNIT	46
Figura 4.2: Resultados para canais com mudança abrupta de declividade (triangulares)	47
Figura 4.3: Resultado para canais com mudança gradual de declividade (retangulares).	48
Figura 4.4: Sarjeta Triangular de Concreto Revisada 01 (STC 01r)	49
Figura 4.5: Sarjeta Triangular de Concreto Revisada 02 (STC 02r)	49
Figura 4.6: Sarjeta Triangular de Grama Revisada 01 (STG 01r).....	50
Figura 4.7: Sarjeta Triangular de Grama Revisada 02 (STG 02r).....	50
Figura 4.8: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 01 (SCC 01r).....	50
Figura 4.9: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 02 (SCC 02r).....	50
Figura 4.10: Sarjeta Trapezoidal de Concreto Revisada 01 (SZC 01-1r).....	50
Figura 4.11: Sarjeta Trapezoidal de Concreto Revisada 02 (SZC 02-1r).....	50
Figura 4.12: Sarjeta Trapezoidal de Grama Revisada 01 (SZG 01-1r)	51
Figura 4.13: Sarjeta Trapezoidal de Grama Revisada 02 (SZG 02-1r)	51
Figura 4.14: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 03 (SCC 03-1r).....	51
Figura 4.15: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 04 (SCC 04-1r).....	51
Figura 4.16: Sarjeta Trapezoidal de Concreto Revisada 01 (SZC 01-2r).....	51
Figura 4.17: Sarjeta Trapezoidal de Concreto Revisada 02 (SZC 02-2r).....	52
Figura 4.18: Sarjeta Trapezoidal de Grama Revisada 01 (SZG 01-2r)	52
Figura 4.19: Sarjeta Trapezoidal de Grama Revisada 02 (SZG 02-2r)	52
Figura 4.20: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 03 (SCC 03-2r).....	52
Figura 4.21: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 04 (SCC 04-2r).....	52
Figura A.1: Desenho-base para as sarjetas triangulares revisadas	63

Figura A.2: Desenho-base para sarjeta trapezoidal, Versão 1	64
Figura A.3: Desenho base para cálculo da altura da sarjeta trapezoidal, Versão 2	65

LISTA DE SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- BR-LEGAL – Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária
- CREMA – Contrato de Restauração e Manutenção
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
- DPRF – Departamento de Polícia Rodoviária Federal
- IPEA – Instituto Nacional de Pesquisas Aplicadas
- NBR – Norma Brasileira
- NCHRP – *National Cooperative Highway Research Program*
- OMS – Organização Mundial de Saúde
- PATO – Plano Atual de Trabalho e Orçamento
- PNCV – Programa Nacional de Controle de Velocidade
- PRF – Polícia Rodoviária Federal
- PROFAS – Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis
- RDG – *Roadside Design Guide*
- RSAP – *Roadside Safety Analysis Program*
- TAC – *Transportation Association of Canada*
- WHO – *World Health Organization*

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito constituem um problema que afeta a vida de milhões de pessoas no mundo, e milhares no Brasil anualmente. Além do impacto na vida de quem sofre um acidente, este também gera um custo financeiro para o país, causado pela perda de produtividade do acidentado, necessidade de indenização das vítimas e seus familiares e pela necessidade de reforma e melhoria no local de acidente.

Alguns autores afirmam que o avanço da tecnologia de pavimentação e traçado da rodovia pode causar uma sensação de confiança exacerbada nos motoristas, contribuindo para o aumento do número de acidentes (MISSATO, 2011). Sobretudo quando se trata de acidentes relacionados à direção perigosa, muitas vezes provocados por imprudências tais como consumo de álcool, uso de celulares ou o excesso de velocidade.

Existem autores, dentre os quais se destaca o sueco Tingvall (TINGVALL e HAWORTH, 2000), que acreditam que as rodovias devem ser projetadas para prever e “perdoar” o erro humano. Eles partem do princípio de que todas – ou quase todas – as mortes em trânsito podem ser evitadas, usando uma engenharia que preveja os acidentes e diminua as consequências destes. Para isso, faz-se necessário que os projetos viários sejam munidos de elementos que diminuam o impacto de acidentes, adotando o conceito de “rodovia que perdoa”.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou, em 2007, uma norma que delimita quais os critérios uma rodovia deve obedecer para ser considerada segura e dispensar a utilização de barreiras de contenção. Essa publicação segue o conceito supracitado de “rodovia que perdoa”. É a Norma Brasileira ABNT NBR – 15.486: Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes de projeto e ensaios de impacto (NBR, 2016). As rodovias que atendem aos critérios da NBR 15.486 podem ser consideradas seguras.

Dentre os elementos viários que impactam na segurança viária, destacam-se os elementos laterais, tais como os taludes, as barreiras e defensas e os obstáculos fixos em geral. Estes últimos constituem, por exemplo, os elementos estruturais de obras de arte especiais, como pilares de viadutos e passarelas; elementos de iluminação (postes) e sinalização (estrutura de painéis de mensagem variável); e ainda as estruturas de drenagem, como caixas de captação, bueiros e guias.

Os elementos de drenagem, em particular os elementos superficiais paralelos às vias, são mencionados amplamente em estudos que tratam da segurança viária e da perspectiva das rodovias que perdoam. Por se tratar de um talude às margens da rodovia, eles podem contribuir para um capotamento no caso de desvio de pista. Seu mau dimensionamento tem influência direta com situações de alagamento e de aquaplanagem dos veículos.

Esse trabalho faz uma revisão da literatura brasileira normativa e internacional sobre segurança viária, com foco nos elementos de drenagem superficial. Foi feita uma verificação se os projetos rodoviários contratados pelo DNIT seguem as recomendações do próprio DNIT e da ABNT. Também foram propostos novos modelos de elementos padronizado que sigam ambas as recomendações citadas, que foram avaliados economicamente. Por fim, esses elementos – em particular, sarjetas – propostos foram comparados com outros normatizados internacionalmente.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Existe uma dificuldade inerente na obtenção dos fatores que influenciam os acidentes de trânsito. Isso porque estes normalmente têm sua causa computada como um fator humano, como falta de atenção à condução ou ingestão de álcool. Na base de dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF, 2017), existem apenas dois fatores computados como causa dos acidentes que se relacionam diretamente à engenharia: “defeito na via” e “sinalização da via insuficiente ou inadequada”. Mas isso não isenta o fato de que rodovias mais seguras resultam em menos acidentes e acidentes menos danosos.

Usinas nucleares causam danos extremos se houver um acidente. Portanto, são projetadas com segurança levando em conta a possibilidade de erro humano. O mesmo se aplica para outras atividades com riscos inerentes, como, por exemplo, operações em barragens, que levam um alto fator de segurança. Ou operações com bactérias e vírus que possuem alto grau de contágio: há uma série de procedimentos de segurança para impedir a ocorrência de acidentes. Por que o mesmo conceito não pode se aplicar ao tráfego em rodovias?

É possível ver na literatura normas, manuais e programas governamentais que trabalham para a diminuição dos acidentes graves de trânsito baseados na responsabilização do projetista. Cita-se como exemplo, no Brasil, a NBR 15.486 (segurança no tráfego). Na Europa, o *Forgiving roadsides design guide*, ou Manual de projeto de rodovias que perdoam, criado com contribuidores da Itália, Suécia e Austrália. Na Dinamarca, é

vigente o princípio *Every accident is one too many*, ou “todo acidente é demais”. Na Suécia, Visão Zero. Na Holanda, *Sustainable Safety*, ou Segurança Sustentável.

As normas, teses e artigos que mencionam laterais seguras e rodovias que perdoam citam os elementos de drenagem como potencializadores de acidentes.

1.2 PROBLEMA

Os elementos de drenagem em rodovias rurais brasileira são projetados de acordo com os critérios de segurança viária vigentes no Brasil?

1.3 OBJETIVOS

Objetivo geral:

- a) Avaliar se os elementos de drenagem superficial usados em projetos rodoviários brasileiros estão de acordo com a norma de segurança NBR-15.486.

Objetivos específicos:

- Comparação entre a norma brasileira de segurança referente a dispositivos de drenagem superficial (NBR 15.486) e normas internacionais similares.
- Avaliar as alterações realizadas na edição de 2016 da norma NBR-15.486, quanto aos elementos de drenagem, comparativamente à edição de 2007.
- Verificar se os projetos rodoviários feitos a partir de setembro de 2007 obedecem à norma de segurança NBR 15.486, edição 2007.
- Propor alternativas para o projeto de elementos de drenagem superficial em rodovias que atendam a NBR 15.486.
- Comparar o incremento de custo dos elementos de drenagem propostos em relação aos empregados no Brasil.

1.4 JUSTIFICATIVA

A ocorrência e a gravidade de acidentes em rodovias são assuntos discutidos frequentemente dentro da engenharia de transportes. Os acidentes têm impacto direto na vida e na saúde de pessoas, além de causarem custos para o governo de ordem indenizatória e de manutenção. Isso traz motivação para diversos autores estudarem o tema.

Os acidentes por saída de pista, os quais podem ser agravados a depender da estrutura dos elementos de drenagem superficial, figuram em segundo lugar quanto à frequência de ocorrência no Distrito Federal, tanto no meio rural como no total de acidentes. Desta forma, confirma-se a relevância de avaliar os elementos de projeto destes dispositivos com os normativos de segurança.

Após constatado que não há projeto específico de drenagem superficial nas rodovias contratadas, notou-se que estes seguiam o Álbum de Projetos-Tipo de Elementos de Drenagem do DNIT. A pesquisa concentrou-se então nessa última publicação. Foi feita uma análise das suas modificações ao longo das últimas edições; verificado se o Álbum atende à NBR 15.486; propostos novos modelos de sarjeta para serem padronizadas e que estejam de acordo com a norma.

Esse trabalho faz parte da temática de segurança viária, abordada pelo Grupo de Pesquisa em Segurança Viária (GPSV) da UnB. As pesquisas que fazem parte do GPSV possuem um caráter social, pois buscam propor melhorias no ambiente viário de modo a salvar vidas e melhorar o tráfego no Distrito Federal e no Brasil.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este projeto de pesquisa está dividido em cinco capítulos, sendo este Capítulo 1 de introdução que apresenta a contextualização do estudo, o problema, os objetivos e a estrutura do trabalho; o Capítulo 2, que traz a revisão bibliográfica realizada de modo a subsidiar a pesquisa proposta e que contempla acidentalidade, conceitos de rodovias que perdoam e elementos de drenagem superficial ; o Capítulo 3 traz a metodologia proposta para desenvolver o estudo; o Capítulo 4 que traz a análise dos resultados obtidos; por fim, o Capítulo 5 com as conclusões finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Revisão Bibliográfica foi dividida em três assuntos principais: acidentalidade de rodovias, métodos de segurança viária e elementos de drenagem.

A primeira sessão trata da motivação do trabalho por meio dos índices divulgados pela OMS, IPEA e DNIT do quão prejudicial são acidentes de trânsito. A segunda aborda alguns métodos usados para aumentar a segurança viária. A terceira sessão foca nos elementos de drenagem e seu dimensionamento, tanto do ponto de vista hidráulico quanto de segurança.

2.1 ACIDENTALIDADE DE RODOVIAS

Em 2010, a Organização Mundial da Saúde (OMS) definiu o período de 2011 a 2020 como a Década de Ação pela Segurança no Trânsito (MAZZETTO, 2015). Esse órgão vê o problema de acidentes rodoviários como uma questão de saúde pública. O objetivo de estabelecer essa temática para a década é incentivar os países a buscar soluções para o problema por meio de ações governamentais e pesquisas.

Estima-se que 1,25 milhão de pessoas morreram em acidentes de trânsito em 2013 (WHO, 2015). Sem ações preventivas, esse número só tende a aumentar, como pode ser visto pela Figura 2.1.

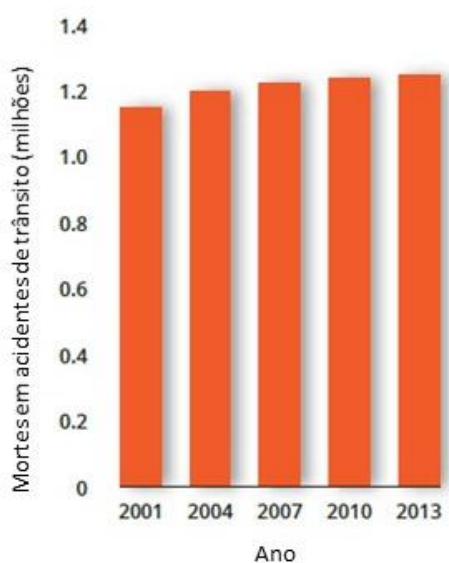


Figura 2.1: Número mundial de mortes por acidentes de trânsito

Fonte: WHO, 2015.

No Brasil, estima-se que, no mesmo ano de 2013, houve 46.935 mortes por acidentes de trânsito (WHO, 2015). Isso significa um total de 23,4 mortes a cada 100 mil habitantes. Em 2004, esse número orbitava em torno de 18 mortes/100 mil habitantes, e o país tinha como objetivo reduzi-lo para 11 mortes/100 mil habitantes.

O Instituto Nacional de Pesquisas Aplicadas (IPEA) estima um número bem menor de mortes no trânsito: 8.233 fatalidades no ano de 2014 (IPEA, 2015). Usando como fonte dados disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), esse instituto registra a ocorrência de 167.247 acidentes, resultando num gasto total de R\$ 12,8 bilhões para esse mesmo ano de 2014.

Os maiores gastos relacionados à ocorrência de um acidente são relativos à perda de produção e custos hospitalares. A perda de produção é uma estimativa de quanto o acidentado deixará de contribuir devido ao afastamento do trabalho, ou até o encurtamento da vida, e também da previdência social que a família receberá. Isso justifica porque um acidente fatal tem um custo médio 7 vezes maior que um acidente não fatal, como pode ser visto na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Custo total e médio por gravidade de acidente em Rodovias Federais

Gravidade do acidente	Quantidade de acidentes	Custo total (R\$ de dez./2014)	Custo médio (R\$ de dez./2014)
Com fatalidade	6.743	4.482.891.117	664.821,46
Com vítimas	62.346	6.031.838.004	96.747,79
Sem vítimas	98.158	2.306.592.728	23.498,77
Total	167.247	12.821.321.848	261.689

Fonte: IPEA, 2015.

Apesar de corresponderem a apenas 5% dos acidentes totais, os acidentes com fatalidade correspondem a 35% dos custos totais.

Uma informação importante trazida pelo DNIT que ajuda a entender a composição dos custos é a faixa etária dos envolvidos em acidente. Pode ser visto pelo gráfico da Figura 2.2 que a maioria das vítimas de acidentes de trânsito estão na faixa de 18 a 38 anos, idade em que a maioria das pessoas está inserida ou se iniciando no mercado, contribuindo com impostos para a arrecadação do país.

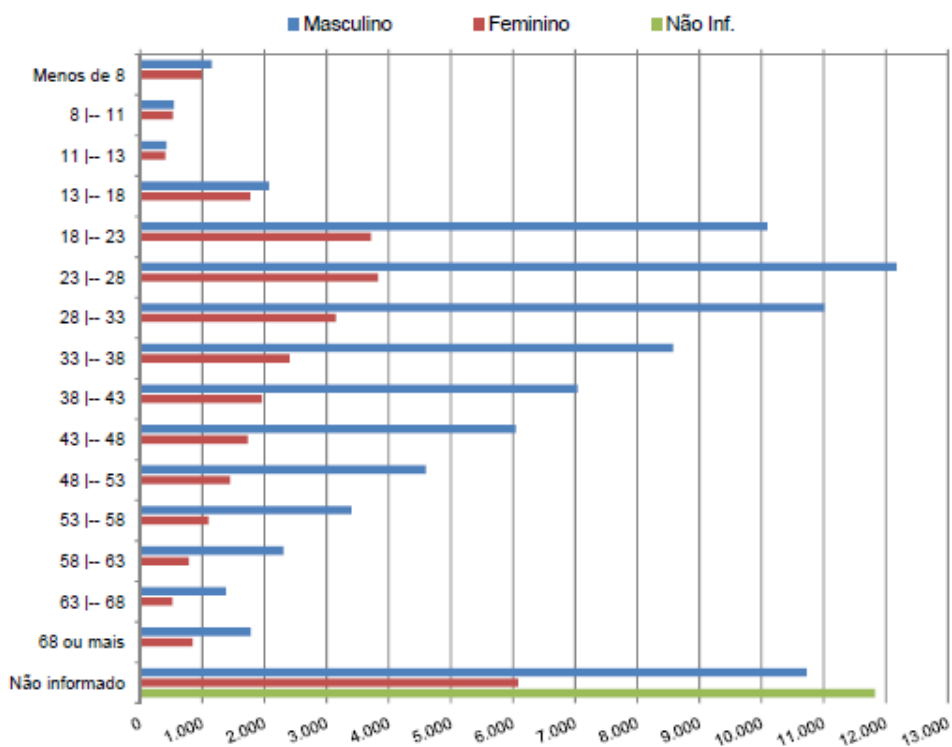


Figura 2.2: Vitimados por acidente de trânsito, segundo a faixa etária e o sexo no ano de 2010

Fonte: DNIT/DPRF, 2011.

O DNIT traz dados estatísticos de qual tipo de acidente de trânsito é mais frequente. Os acidentes mais comuns são, nessa ordem: colisão traseira, saída de pista, abalroamento no mesmo sentido, abalroamento transversal e choque com objeto fixo. Os choques contra elementos de drenagem estão incluídos em duas dessas categorias: saída de pista e choque com objeto fixo. A Tabela 2.2 e a Figura 2.3 ilustram a quantidade de proporção de acidentes por tipo e gravidade no Brasil.

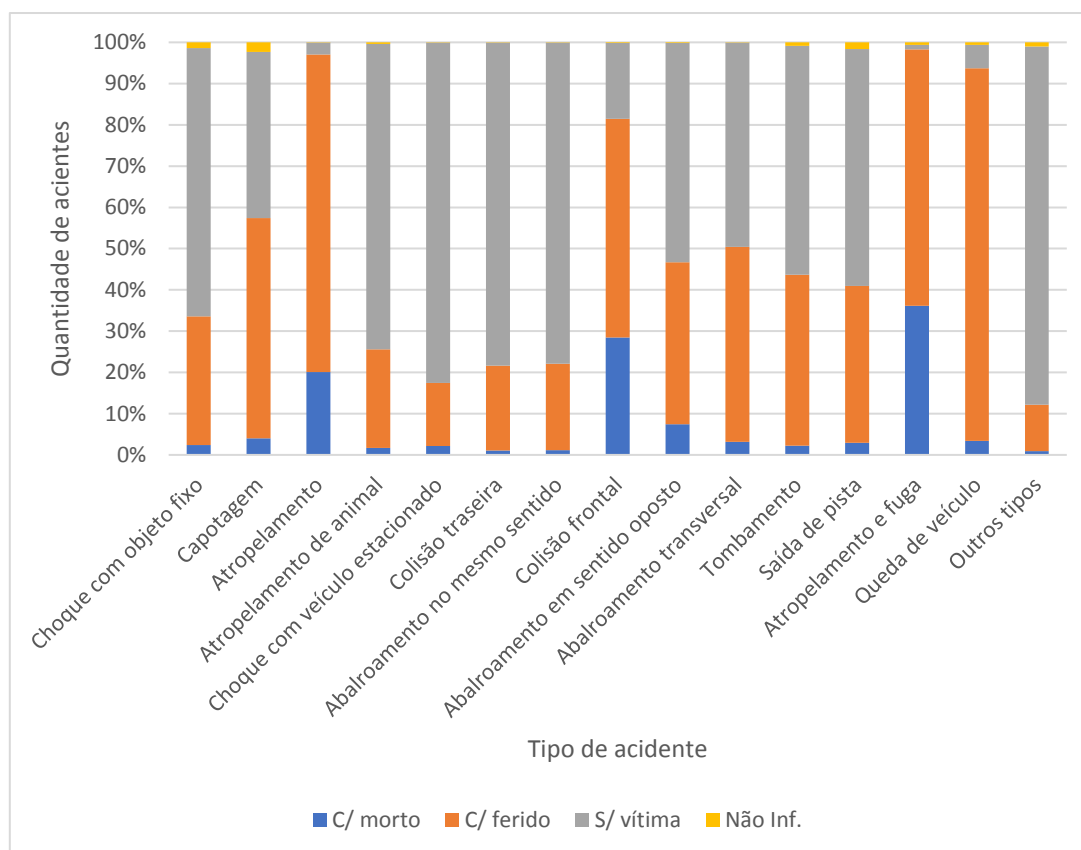


Figura 2.3: Acidentes de trânsito segundo o tipo e gravidade para o ano de 2010

Fonte: Adaptado de DNIT/DPRF, 2011.

Tabela 2.2: Número de acidentes por tipo e gravidade no Brasil em 2010

Tipo de acidente	C/ morto	C/ ferido	S/ vítima	Não Inf.	TOTAL
Choque com objeto fixo	466	5.984	12.509	263	19.222
Capotagem	183	2.409	1.816	105	4.513
Atropelamento	1.302	4.995	186	3	6.486
Atropelamento de animal	73	1.024	3.172	17	4.286
Choque com veículo estacionado	41	288	1.556	1	1.886
Colisão traseira	568	10.534	40.230	23	51.355
Abalroamento no mesmo sentido	262	4.904	18.210	17	23.393
Colisão frontal	1.514	2.813	979	6	5.312
Abalroamento em sentido oposto	343	1.808	2.450	8	4.609
Abalroamento transversal	621	9.367	9.807	10	19.805
Tombamento	110	2.025	2.712	40	4.887
Saída de pista	717	9.383	14.153	395	24.648
Atropelamento e fuga	643	1.106	19	11	1.779
Queda de veículo	181	4.820	304	33	5.338
Outros tipos	49	607	4.672	53	5.381
TOTAL	7.073	62.067	112.775	985	182.900

Fonte: Adaptado de DNIT/DPRF, 2011.

Há uma diferença entre os tipos de acidentes mais comuns em meios rurais e urbanos. Na Tabela 2.3 é apresentada, para o ano de 2010, a quantidade de acidentes por tipo e uso do solo (urbano e rural) ocorridos no Brasil, e no Distrito Federal. É possível identificar que, para o Brasil, a quantidade de acidentes por saída de pista corresponde a 23% do total, e as categorias saída de pista e choque com objeto fixo corresponde, juntas, a quase 40% do total. É possível verificar, ainda, que as especificidades da acidentalidade nos ambientes urbano e rural são mantidas similares tanto para o cenário nacional (Figura 2.4) como para o âmbito do Distrito Federal (Figura 2.5).

Tabela 2.3: Número de acidentes por tipo, no Brasil em 2010

Tipo de acidente	BRASIL			DISTRITO FEDERAL		
	Urbano	Rural	TOTAL	Urbano	Rural	TOTAL
Saída de pista	4.837	19.711	24.548	384	120	504
Colisão traseira	34.703	16.652	51.355	100	100	200
Choque com objeto fixo	7.103	12.118	19.221	127	33	160
Abalroamento no mesmo sentido	16.637	6.756	23.393	107	33	140
Abalroamento transversal	14.828	4.977	19.805	62	32	94
Tombamento	1.023	3.864	4.887	26	23	49
Capotagem	1.070	3.443	4.513	27	13	40
Colisão frontal	1.957	3.355	5.312	6	10	16
Abalroamento em sentido oposto	1.258	3.351	4.609	6	8	14
Outros tipos	2.302	3.079	5.381	44	6	50
Queda de veículo	3.010	2.328	5.338	3	4	7
Atropelamento de animal	1.191	2.095	3.286	10	4	14
Atropelamento	4.936	1.550	6.486	2	3	5
Choque com veículo estacionado	960	926	1.886	0	2	2
Atropelamento e fuga	1.170	609	1.779	0	0	0
TOTAL	96.985	84.814	181.799	904	391	1.295

Fonte: Adaptado de DNIT/DPRF, 2011.

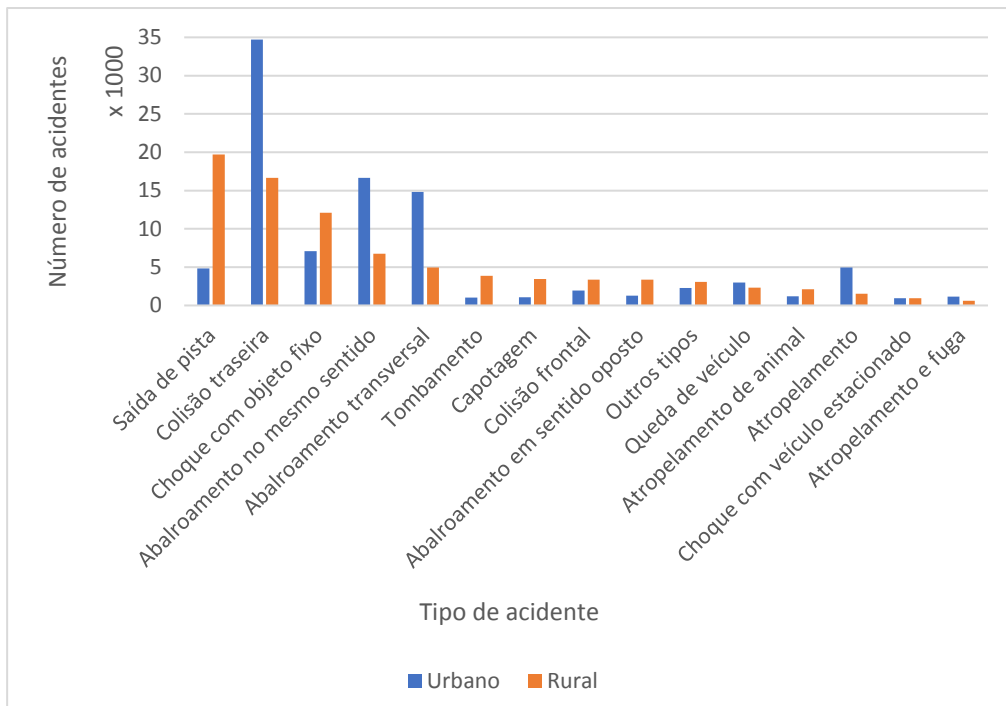


Figura 2.4: Número de acidentes no Brasil por tipo (2010)

Fonte: Adaptado de DNIT/DPRF, 2011.

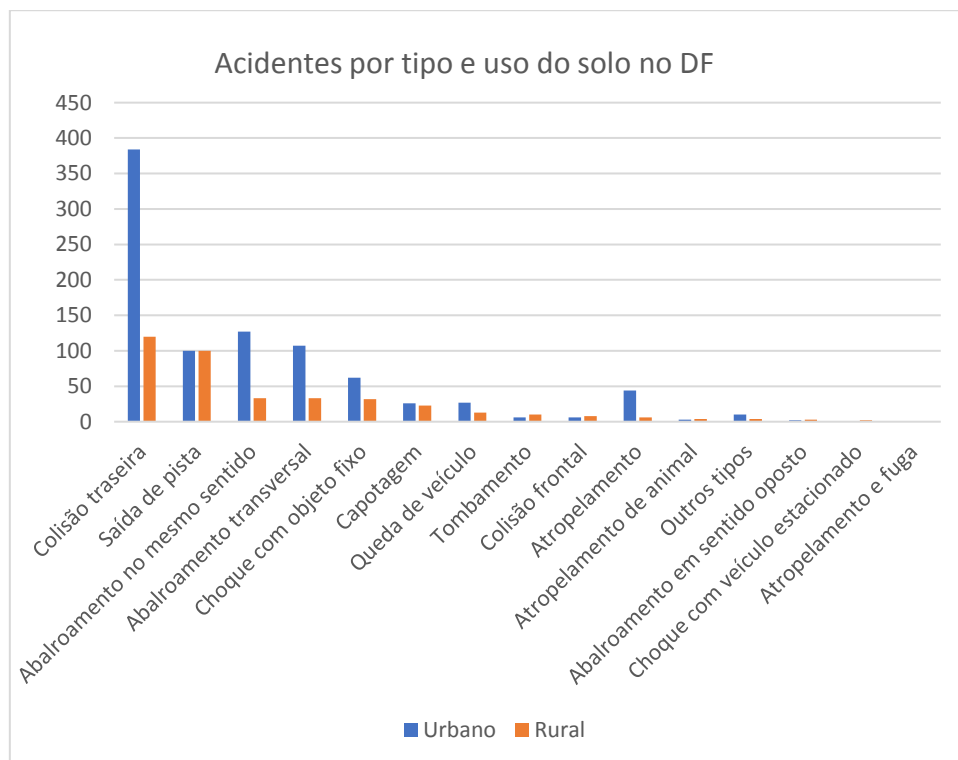


Figura 2.5: Número de acidentes por tipo e uso do solo, no Distrito Federal (2010)

Fonte: Adaptado de DNIT/DPRF, 2011

A Figura 2.6 e a Tabela 2.4 apresentam, para o Distrito Federal, a quantidade e proporção de acidentes por tipo e nível gravidade.

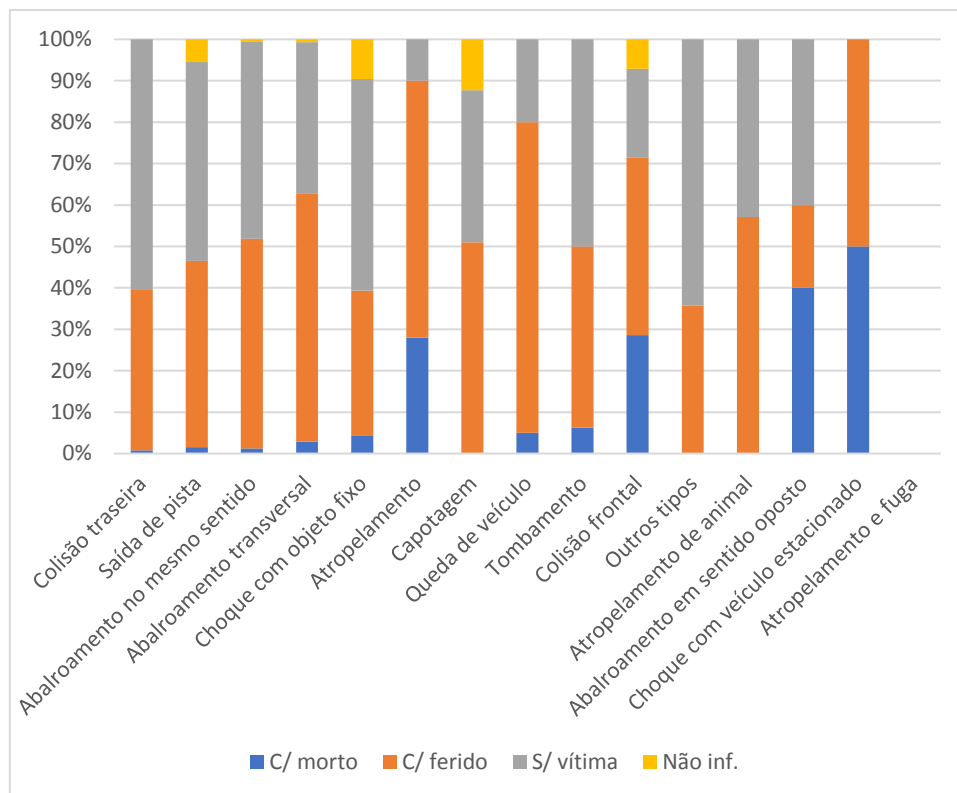


Figura 2.6: Número de acidentes por tipo e gravidade no Distrito Federal (2010)

Fonte: Adaptado de DNIT/DPRF, 2011.

Tabela 2.4: Número de acidentes por tipo e gravidade no Distrito Federal em 2010

Tipo de Acidente	TOTAL	C/ morto	C/ ferido	S/ vítima	Não inf.
Colisão traseira	504	4	195	305	0
Saída de pista	200	3	90	96	11
Abalroamento no mesmo sentido	160	2	81	76	1
Abalroamento transversal	140	4	84	51	1
Choque com objeto fixo	94	4	33	48	9
Atropelamento	50	14	31	5	0
Capotagem	49	0	25	18	6
Queda de veículo	40	2	30	8	0
Tombamento	16	1	7	8	0
Colisão frontal	14	4	6	3	1
Outros tipos	14	0	5	9	0
Atropelamento de animal	7	0	4	3	0
Abalroamento em sentido oposto	5	2	1	2	0
Choque com veículo estacionado	2	1	1	0	0
Atropelamento e fuga	0	0	0	0	0
TOTAL	1295	41	593	632	29

Fonte: Adaptado de DNIT/DPRF, 2011.

2.1.1 CAUSA E PREVENÇÃO DE ACIDENTES

Os acidentes de trânsito são causados pela interação entre três fatores: fatores humanos, fatores viário-ambientais e fatores veiculares, sendo o fator humano o mais relevante dentre os três (CARDOSO, 2006). A abordagem para redução de acidentes causados por cada um desses fatores vem de áreas diferentes:

- Fatores humanos: são trabalhados com campanhas sociais, como a Lei Seca (proibição de dirigir após consumo de bebidas alcoólicas) e campanhas pela não-utilização de aparelho celular ao volante.
- Fatores viário-ambientais: são trabalhados com melhorias na pista e seu entorno.
- Fatores veiculares: são trabalhados com inclusão de elementos que tornam o veículo mais seguro, como os *air-bags* e freio ABS.

Os fatores viário-ambientais são aqueles que podem ser melhorados pela engenharia civil. Além da qualidade do pavimento, esse fator inclui a consistência geométrica. Uma boa consistência geométrica significa um traçado da via previsível, onde o condutor consegue prever e se preparar para a existência de curvas. Estudos indicam que os motoristas cometem menos erros se a geometria da via está dentro do esperado (DE SOUZA, 2012).

O *Accident Reduction Guide* (ARG) (RTA, 2004) identifica duas táticas para intervir em rodovias no sentido de melhorar a segurança: o tratamento de *blackspots* e o *mass action*. *Blackspots treatment* seria fazer intervenções em lugares específicos onde há grande ocorrência documentada de acidentes. *Mass action treatment* seria a identificação de padrões a serem melhorados em projetos para torná-los mais seguros, antes que ocorram os acidentes. Ou seja, pode-se remediar (*blackspot*) ou prevenir (*mass action*).

Existe ainda uma tendência de, com a melhoria nos pavimentos, aumentar a quantidade de acidentes envolvendo saída de pista (MISSATO, 2011). Outros fatores que podem influenciar a quantidade de acidentes são as edificações e a paisagem nas laterais da pista. Existem estudos que comprovam que essas características adjacentes à plataforma de tráfego influenciam a escolha da velocidade e a capacidade do motorista de prever o “desenho” da pista.

Um estudo conduzido por Ivan *et al.* (2009), por exemplo, mostra que motoristas tendem a escolher a velocidade de tráfego pelo desenho dos arredores. Plataformas largas, recuo

longo e menor presença de edificações são fatores que influenciam para a escolha de velocidades mais elevadas. Plataformas largas devem ser usadas em rodovias projetadas para altas velocidades, e preferencialmente em localidades rurais (IVAN *et al.*, 2009).

Outra característica que não é inerente à rodovia, mas tem influência na condução, é a presença de árvores nas laterais da via. As árvores aumentam a percepção dos motoristas em relação ao contorno da via (NADERI *et al.*, 2008). Para citar um último exemplo sobre esse tema, dados portugueses sobre acidentes de trânsito indicam que o desenho da área adjacente à rodovia contribui com mais da metade de todos os acidentes por saída de pista envolvendo mortes e/ou pessoas severamente feridas (ROQUE *et al.*, 2015).

Do entendimento que a pista e a área lindeira têm influência direta na ocorrência e gravidades de acidentes, e que o projetista pode escolher fazer um traçado mais ou menos seguro, surge o conceito da “rodovia que perdoa”. Projetar uma rodovia seguindo esse conceito significa projetar uma lateral mais segura, com o objetivo de reduzir as consequências dos acidentes no caso da perda de controle do veículo (DE SOUZA, 2012).

2.1.2 PROGRAMAS DE SEGURANÇA VIÁRIA NO MUNDO

Os holandeses possuem um método traduzido como “Segurança Sustentável” (*Sustainable Safety*, em inglês, ou *Duurzaam veilig*, em holandês). Esse método de trabalhar a segurança viária foi introduzido pela primeira vez em 1992, e revisado em 2005 (BICYCLE DUTCH, 2012). A Segurança Sustentável busca reduzir drasticamente o número de mortes no trânsito e prever acidentes perigosos. O objetivo é alcançado baseando o projeto viário no que o corpo humano suporta e no comportamento do motorista influenciado não pelas regras de trânsito, mas pelo desenho da pista.

A Segurança Sustentável é baseada em 5 princípios:

- Funcionalidade (de rodovias): grandes volumes e distâncias ou de acesso local;
- Homogeneidade (de massa, velocidade e direção);
- Previsibilidade (do traçado);
- Perdão (da estrada e dos arredores); e
- Estado de alerta (do usuário).

Na Suécia, foi adotado um método mais ambicioso: “Visão Zero”, ou “*Vision Zero*” (em inglês). Criado pelo professor Tingvall, em 1997 (TINGVALL e HAWORTH, 2000), ele parte do princípio de que humanos erram e se distraem, e o ambiente de tráfego deve estar preparado para esse erro, de modo a impedir a ocorrência de fatalidades. Adotado pelo governo sueco, o objetivo é zerar as mortes em trânsito até 2050 (excluindo os suicídios, que computam 20% das mortes no trânsito na Suécia). Entre 2007 e 2020, pretende-se diminuir pela metade o número de mortes no trânsito viário, que já possui um índice relativamente baixo, de 270 mortes por ano (SUÉCIA, 2016) ou 2,8 mortes a cada 100.000 habitantes (WHO, 2015).

Para atingir a meta, os suecos contam com a cooperação entre os órgãos reguladores de trânsito, a polícia e o sistema de saúde para criar políticas conjuntas, e ter transparência nos dados de acidentes e incidentes. Das mortes que ocorrem no trânsito, 10% são de ciclistas, 10 a 15% de pedestres, 60% de motoristas e 10 a 15% de motociclistas. Para prevenir esses acidentes, alguns exemplos de soluções adotadas pelos suecos são:

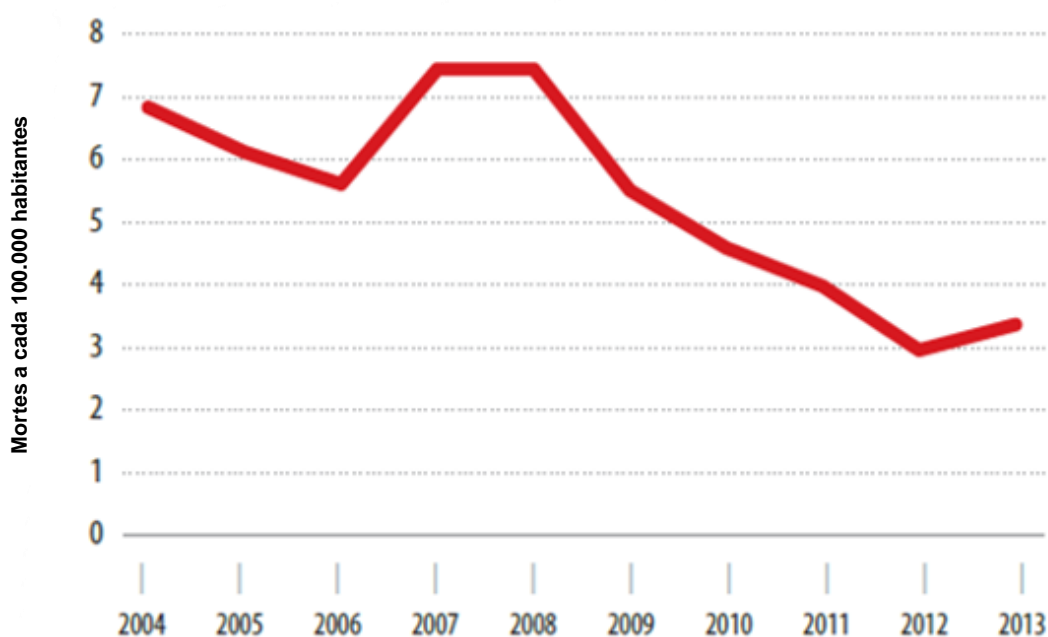
- “*2 + 1 roads*”: estradas com duas faixas de um lado e uma faixa do outro, para facilitar a ultrapassagem;
- Uso de limites de velocidade, assim como no sistema dinamarquês, com base no impacto suportado por um ser humano e na forma que ele sentirá o impacto (atropelamento, colisão frontal, traseira ou lateral, por exemplo); e
- Medidas para acalmar o tráfego (barreiras, sonorizadores, etc.) (SUÉCIA, 2016).

A Visão Zero foi adotada também em estados da Austrália (MUIR *et al.*, 2018) e em cidades estado-unidenses (CENTER FOR ACTIVE DESIGN, 2014). Os métodos usados nessas cidades, no entanto, se aproximam mais da “Segurança Sustentável” holandesa, pois a meta de zero fatalidades é considerada utópica. Na Austrália, esse método recebeu uma terminologia própria: *Safe System*, ou “Sistema Seguro”, e é adotado nacionalmente desde 2004 (MUIR *et al.*, 2018).

A Dinamarca também possui uma metodologia própria, muito semelhante às supracitadas, chamada “Cada acidente é demais” (*Every accident is one too many*, em inglês). Foi publicada pelo governo dinamarquês em 2002 e visa diminuir em 40% o número de pessoas mortas ou gravemente feridas em acidentes de trânsito no país até

2012, tomando como base os dados de 1998 (DINAMARCA, 2002). Isso significa reduzir o número de fatalidades para 300 por ano.

Dados da Organização Mundial da Saúde mostram que a taxa de mortalidade em acidentes de trânsito na Dinamarca era de 196 pessoas por ano em 2013 – ou 3,5 a cada 100.000 habitantes (WHO, 2015). Pode-se afirmar, portanto, que o método de segurança dinamarquês obteve sucesso em seus objetivos, e que o programa lançado em 2002 teve uma contribuição positiva para tal, como mostra a Figura 2.7 pela tendência geral de queda observada na última década.



Fonte: Estatísticas Nacionais (dados da polícia)

Figura 2.7: Tendência nas mortes em acidentes de trânsito reportadas

Fonte: Adaptado de WHO, 2015.

Todos esses métodos ou programas são influenciados pelo conceito da “rodovia que perdoa”, partindo do princípio que o ambiente deve ser construído considerando o erro humano e prevendo a possibilidade de acidente e como minimizá-lo.

No Brasil, impulsionado pela Década de Ação pela Segurança no Trânsito, foi criado o programa BR-LEGAL (SILVA, 2017) que, de todos os programas federais que recebem dinheiro para manutenção de elementos viários, é o único que inclui em seu escopo a prevenção de acidentes, usando um conceito semelhante ao da “rodovia que perdoa”. O

programa chega a referenciar a norma NBR 15.486 quando trata da área de escape (zona livre) necessária no projeto da rodovia (DNIT, 2016). Ele ressalta, nesse sentido, dois itens:

- Análise da necessidade de uso de defensas metálicas; e
- Análise dos taludes, da guia e do “corpo hídrico”.

2.1.3 CRÍTICAS E PROBLEMAS DAS “RODOVIAS QUE PERDOAM”

Apesar de trazer uma boa contribuição para a redução de acidentes onde aplicada, a metodologia “rodovia que perdoa” nem sempre é uma solução adequada por si só. Uma das razões disso é porque soluções que visam aumentar a segurança de motoristas são incompatíveis com aquelas que promovem a segurança de pedestres (DUMBAUGH e LI, 2010).

Nos Estados Unidos, 13% dos acidentes de trânsito envolvem pedestres ou ciclistas, por exemplo, e não há nenhum estado que gaste mais de 2,5% do seu orçamento para transporte em recursos para esses usuários, como calçadas e campanhas de conscientização do uso de capacete (ERNST, 2004). No Brasil, em 2010, cerca de 5% dos acidentes são atropelamentos (ou atropelamento com fuga), mas esse mesmo tipo de acidente corresponde a 27% do número de mortes (DNIT, 2011).

Dumbaugh e Li (2010) acreditam que os fatores que causam acidentes em áreas rurais e urbanas não são os mesmos. Nas áreas urbanas, os acidentes decorrem principalmente da existência de conflitos entre a mesma ou diferentes modalidades de transporte e das velocidades. Além disso, o uso somente do conceito de “rodovia que perdoa” não leva em conta a possibilidade de o acidente ser causado não por um erro aleatório, mas por um padrão de comportamento influenciado pelas características das redondezas e da área adjacente à plataforma de circulação.

Nas palavras – traduzidas – de Dumbaugh e Li (2010):

“Nós acreditamos que é a eliminação de conflitos no tráfego, e não a presença de características ‘que perdoam’, que é provavelmente responsável por benefícios em segurança.”

Para o contexto brasileiro, o trabalho de Costa (2017) não conseguiu identificar diferença significativa na causalidade de acidentes em meios rurais e urbanos, mas identificou uma

grande diferença entre os acidentes mais comuns para cada uso do solo. Essa conclusão, somada ao fato de que, entre as causas mais comuns para ambos os meios estava “outros”, indica que é relevante usar metodologias e procedimentos diferentes para melhorar a segurança em rodovias urbanas e rurais, e que a metodologia brasileira usada para identificar a causa de acidentes ainda é muito precária e deve buscar ser melhorada.

Para aqueles que querem seguir a metodologia das “rodovias que perdoam”, é interessante conhecer o estudo conduzido por Lee e Manning (2012). Esse estudo traz como resultado um aumento na chance de ocorrência de acidentes de trânsito com pessoas gravemente feridas e/ou mortes quando há presença de barreiras. Ele reforça a ideia de que dispositivos de proteção como barreiras metálicas ou de concreto devem ser a última opção do projetista.

2.1.4 RELAÇÃO ENTRE ELEMENTOS DE DRENAGEM E ACIDENTES

No trabalho de Missato (2011), o autor identifica, por meio de dados estatísticos fornecidos pela ARTESP, para o Estado de São Paulo, que o choque contra elementos de drenagem corresponde a 11,2% dos acidentes por choque. O número parece baixo, mas é o segundo maior elemento contra o qual os veículos chocam, ficando atrás somente de barreiras e defensas. Em São Paulo, os acidentes por choque correspondem a 31,7% dos acidentes totais, sendo o maior dentre os tipos de acidente.

Apesar de não ter sido aferido o percentual desse tipo de acidente para o Distrito Federal, entende-se que a sua construção deve ser compatibilizada com as normas de segurança vigentes quando da construção e, se possível em termos de orçamento, ajustada para atender as normas mais atuais.

Rocha *et al.* (2015) fizeram uma pesquisa ampla com sarjetas de corte e aterro nas rodovias federais do Brasil. O objetivo da pesquisa era comparar os aspectos de segurança e hidráulico desses elementos na rodovia, de acordo com o Manual de Drenagem (DNIT, 2006b) (publicação IPR 724) e com a NBR 15.486/2007 – Segurança no Tráfego: dispositivos de contenção viária – diretrizes de projeto e ensaio de impacto. A conclusão à qual os pesquisadores chegaram é que as sarjetas de corte, na sua quase totalidade, não cumprem os aspectos de segurança, apenas os hidráulicos. As sarjetas de aterro atendem aos requisitos de segurança em aproximadamente metade das ocorrências.

2.2 NORMAS QUE SEGUEM O CONCEITO DE RODOVIAS QUE PERDOAM

2.2.1 A NORMA BRASILEIRA: NBR 15.486

No Brasil, existe uma norma que segue o conceito da Rodovia que Perdoa. É a NBR 15.486: Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes de projeto e ensaio de impacto. Essa norma define o que é necessário no entorno de uma rodovia para defini-la como segura, dispensando a necessidade de elementos de segurança adicionais (barreiras de proteção).

O manual de projeto geométrico de rodovias rurais brasileira (DNER, 1999) e a norma de segurança viária - dispositivos de contenção (NBR 15.486/2016) são amplamente baseadas na norma americana, o *Road Design Guide* (MISSATO, 2011). A NBR 15.486 aplica-se a todos os novos projetos e trata do dimensionamento e necessidade de implantação de dispositivos de contenção lateral e longitudinal, em função principalmente da presença de taludes e de obstáculos. Por se tratar de uma norma que protege o veículo e dirime as consequências no caso de perda de controle da direção, ela não busca diminuir a frequência de acidentes, e sim a sua gravidade.

Essa norma (NBR 15.486) tem sua primeira edição datada de 2007, tendo sido elaborada pela Comissão de Estudo de Segurança do Tráfego (CE-016:300:005). As diferenças mais significativas da revisão de 2016 em relação à versão original de 2007 são:

- Simplificação do cálculo da zona livre

Em ambas as versões, a zona livre, que corresponde a uma área livre de obstáculos nas laterais das pistas de rolamento que permite a recuperação do controle da direção, é calculada de acordo com a equação:

$$ZL_c = L_c \times K_{cz}$$

Onde ZL_c é a zona livre na parte externa das curvas; L_c é a largura da zona livre calculada e K_{cz} é o fator de correção da curva.

Na revisão de 2016, houve uma modificação na forma de calcular o L_c , deixando de ser feito por ábaco (Figura 2.8) para ser feito por tabela (Tabela 2.5), e acrescentando as velocidades de projeto de 70, 90 e 110 km/h. As distâncias laterais permanecem dentro do mesmo intervalo, mas a escolha é feita com maior simplicidade.

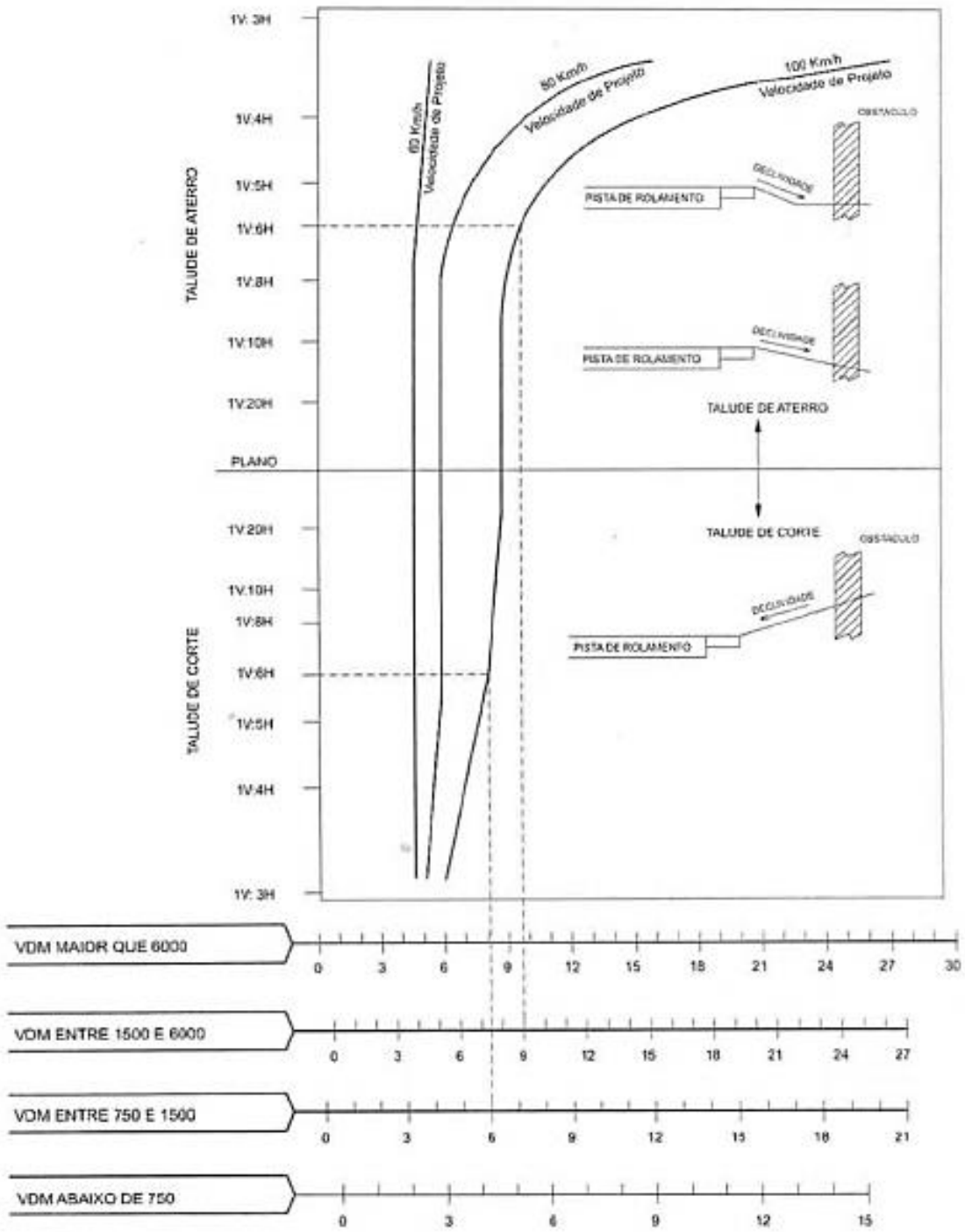


Figura 2.8: Ábaco para cálculo da largura da zona livre

Fonte: ABNT, 2007.

Tabela 2.5: Cálculo da largura da zona livre, em metros

Velocidade de projeto km/h	VDM	Declividade lateral					
		1V:6H ou mais plano	1V:5H a 1V:4H	1V:3H	1V:3H	1V:5H a 1V:4H	1V:6H ou mais plano
60	< 750	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0	*	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0
	750 - 1500	3,0 - 3,5	3,5 - 4,5	*	3,0 - 3,5	3,0 - 3,5	3,0 - 3,5
	1500 - 6000	3,5 - 4,5	4,5 - 5,0	*	3,5 - 4,5	3,5 - 4,5	3,5 - 4,5
	> 6000	4,5 - 5,0	5,0 - 5,5	*	4,5 - 5,0	4,5 - 5,0	4,5 - 5,0
70 - 80	< 750	3,0 - 3,5	3,5 - 4,5	*	2,5 - 3,0	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5
	750 - 1500	4,5 - 5,0	5,0 - 6,0	*	3,0 - 3,5	3,5 - 4,5	4,5 - 5,0
	1500 - 6000	5,0 - 5,5	6,0 - 8,0	*	3,5 - 4,5	4,5 - 5,0	5,0 - 5,5
	> 6000	6,0 - 6,5	7,5 - 8,5	*	4,5 - 5,0	5,5 - 6,0	6,0 - 6,5
90	< 750	3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	*	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5	3,0 - 3,5
	750 - 1500	4,5 - 5,0	6,0 - 7,5	*	3,0 - 3,5	4,5 - 5,0	4,5 - 5,0
	1500 - 6000	5,0 - 5,5	7,5 - 9,0	*	4,5 - 5,0	5,0 - 5,5	5,0 - 5,5
	> 6000	6,5 - 7,5	8,0 - 10,0	*	5,0 - 5,5	6,0 - 6,5	6,5 - 7,5
100	< 750	5,0 - 5,5	6,0 - 7,5	*	3,0 - 3,5	3,5 - 4,5	4,5 - 5,0
	750 - 1500	6,5 - 7,5	8,0 - 10,0	*	3,5 - 4,5	5,0 - 5,5	6,0 - 6,5
	1500 - 6000	8,0 - 9,0	10,0 - 12,0	*	4,5 - 5,5	5,5 - 6,5	7,5 - 8,0
	> 6000	9,0 - 10,0	11,0 - 13,5	*	6,0 - 6,5	7,5 - 8,0	8,0 - 8,5
110	< 750	5,5 - 6,0	6,0 - 8,0	*	3,0 - 3,5	4,5 - 5,0	4,5 - 5,0
	750 - 1500	7,5 - 8,0	8,5 - 11,0	*	3,5 - 5,0	5,5 - 6,0	6,0 - 6,5
	1500 - 6000	8,5 - 10,0	10,5 - 13,0	*	5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	8,0 - 8,5
	> 6000	9,0 - 10,5	11,5 - 14,0	*	6,5 - 7,5	8,0 - 9,0	8,5 - 9,0

*

Neste talude, pela possibilidade do veículo não recuperar o controle e prosseguir até o final do aterro, o pé do aterro deve estar livre de obstáculos fixos.

Fonte: Adaptado de ABNT (2016).

- Contenção lateral/longitudinal/central/pontual

Houve uma reformulação na forma como são apresentadas as classificações dos dispositivos de contenção, além de outras mudanças. Para facilitar a leitura, estas modificações estão apresentadas na Tabela 2.6.

Tabela 2.6: Principais alterações da revisão da NBR 15.486

NBR 15.486/2007	NBR 15.486 /2016
Classificação dos dispositivos de contenção longitudinal	
Classificação NCHRP 350 Critério do veículo de ensaio de impacto – EN 1317 Níveis de contenção – EN 1317 Níveis de contenção conforme NCHRP 350 e EN 1317 Comparativo para amortecedores de impacto	Classificação NCHRP 350 Critério do veículo de ensaio de impacto – EN 1317 Níveis de contenção – EN 1317 Níveis de contenção conforme NCHRP 350 e EN 1317 Classificação da severidade do impacto Espaço de trabalho conforme EN 1317 Intrusão conforme EN 1317 Deflexão dinâmica
Seleção de dispositivo de contenção viária por nível de contenção	
Desempenho Deflexão Condições do local Compatibilidade Manutenção	Passo a passo: 1- Cálculo da zona livre da rodovia 2- Verificação da necessidade de dispositivo de contenção 3- Determinação do risco existente no local 4- Verificação da classe e velocidade da rodovia 5- Consideração do VDM e porcentagem de veículos pesados 6- Condições geométricas da via Espaço de trabalho Condições do local Compatibilidade Manutenção
Geral	
Categorização dos tipos de sistema de contenção lateral quanto à flexibilidade	–
Contenção central	Contenção pontual

2.2.2 A NBR 15.486 E OS ELEMENTOS DE DRENAGEM

Quanto aos elementos e dispositivos de drenagem, quase não houve modificação na norma revisada. As mudanças apresentadas estão na Tabela 2.7, ao final dessa seção.

A NBR 15.486 cita os seguintes elementos: drenagem lateral, na qual se incluem sarjetas e valetas; guias, sinônimo de meios-fios, que são usadas para proteção de sarjetas de aterro; bocas de entrada e saída; drenagem paralela à via, que inclui os bueiros de greide; e caixas de captação.

Quanto aos canais de drenagem lateral, o capotamento de um carro ao atingi-los só ocorre em situações muito severas (MISSATO, 2011). Todavia, a NBR 15.486/2016 e o RDG

(2006) recomendam o uso de um desenho dos canais que os tornem traspassáveis, segundo os ábacos das Figuras 2.9 e 2.10. Se não for possível desenhá-los de modo que atendam aos critérios das áreas hachuradas, a norma brasileira recomenda o uso de dispositivos de contenção, ou que os canais sejam redesenhados como sistemas fechados.

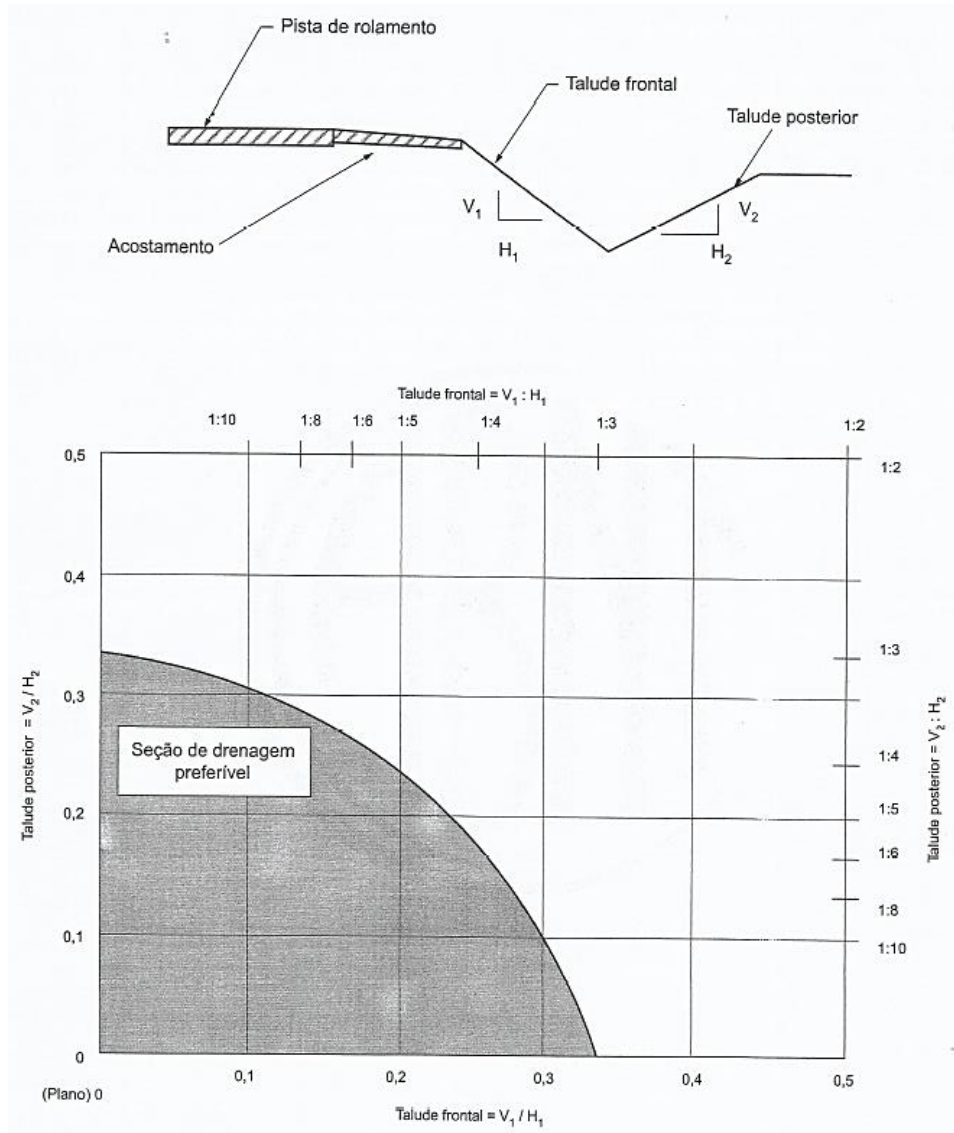


Figura 2.9: Seção triangular preferencial para canais com mudança abrupta de declividade

Fonte: ABNT, 2016.

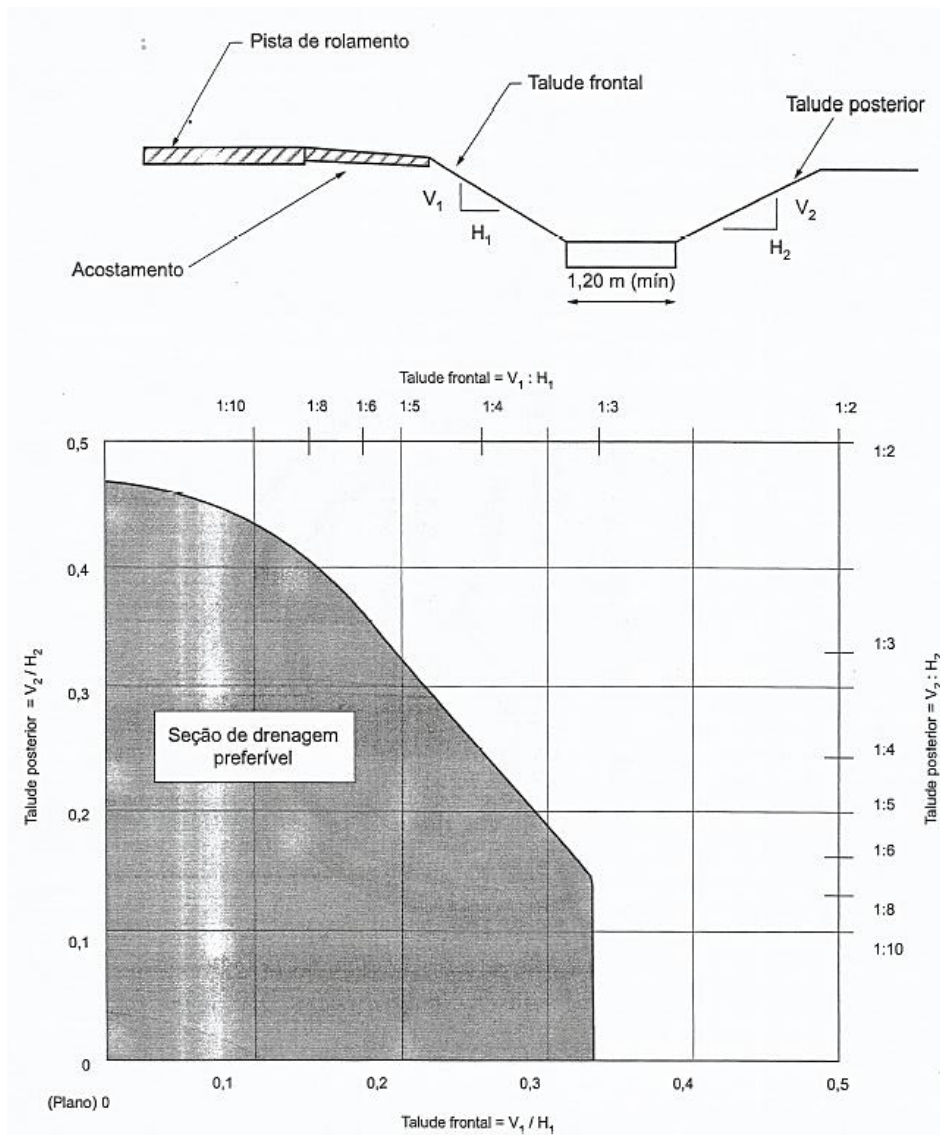


Figura 2.10: Seção trapezoidal preferencial para canais com mudança gradual de declividade

Fonte: ABNT, 2016.

Sobre as guias, a NBR recomenda que tenham altura menor ou igual a 10 cm, e sejam preferencialmente dispostas atrás dos dispositivos de contenção, quando houver. O RDG (2006) não recomenda a utilização de guias em pistas com alta velocidade, e o manual canadense TAC (1999) define “alta velocidade” como a partir de 90 km/h (MISSATO, 2011). A mesma recomendação acima é dada para as caixas de captação, que tenham altura máxima de 10 cm (ABNT, 2016).

Em respeito às bocas de entrada e saída e a drenagem paralela à via, a NBR 15.486 recomenda tornar traspassável as estruturas sempre que o talude na qual estão inseridas for traspassável. Se não for possível, a estrutura deve ser protegida por dispositivos de

contenção, redesenhadas, reposicionada para um local menos provável de ser atingido (limite da zona livre) ou eliminado (ABNT, 2016). Essas recomendações aplicam-se aos bueiros transversais e paralelos à rodovia (MISSATO, 2011).

Tabela 2.7: Mudanças na norma 15.486 quanto aos elementos de drenagem

NBR 15.486/2007	NBR 15.486/2016
Estruturas de drenagem (item 4.1.6 – 2007)	
Eliminar estruturas de drenagem não essenciais	–
Drenagem transversal à via (item 4.1.6.2 – 2007)	
Delinear o local se as alternativas anteriores não forem apropriadas	–
Caixas de captação (item 4.6.4 – 2016)	
–	Na impossibilidade de eliminar a condição de obstáculos fixos dentro da zona livre, deve ser utilizado dispositivo de contenção.

Uma alternativa para a aplicação direta das normas supracitadas é a aplicação de modelos compreensivos. Esses modelos, dentre os quais destacam-se o RSAP e o ROADSIDE, incluem na análise não só as recomendações de segurança, mas também o custo da implantação e da não-implantação da solução visada. Esse estudo é interessante porque, por exemplo, a inserção de uma barreira metálica pode aumentar a quantidade de acidentes por ampliar a área atingível, e resultar numa redução da segurança viária (MISSATO, 2011).

2.2.3 NORMAS INTERNACIONAIS E OS ELEMENTOS DE DRENAGEM

Esse tópico faz referência à normatização internacional quanto à drenagem superficial de rodovias. Os países de origem das normas, no entanto, não necessariamente possuem os mesmos desafios de projeto que no Brasil, devido a diferenças no clima e no solo. No entanto, é importante ter conhecimento do que é padronizado internacionalmente quanto à segurança de circulação.

O manual de referência australiano é o *Guide to Road Design* (Guia para o Projeto de Estradas). Na seção 5 (Drenagem – considerações gerais e hidrológicas), ele menciona que o sistema de canais abertos é recomendado para rodovias rurais. O dimensionamento de tais canais é feito para um Tempo de Retorno de 10 anos (ou seja, 10% de

probabilidade de ocorrência). Esses canais são dimensionados pelas fórmulas racionais do campo de estudo da hidráulica e hidrologia. O manual traz informações mais especificadas sobre o dimensionamento de meio-fio (FANNING, 2013a e b).

Dentre as publicações estatais australianas, o estado de Queensland traz explicitamente que o uso de meio-fio em rodovias rurais e de alta velocidade deve ser evitado, pois eles comprometem a segurança de veículos que sofrem acidentes de saída de pista (QUEENSLAND, 2015).

O manual de referência irlandês chega a trazer um pequeno guia de qual a solução mais adequada para cada tipo de rodovia:

- Rodovias urbanas:
 - Obrigatório uso de meios-fios com bueiros
 - Sem problema de lençol freático: tubo transportador selado
 - Com problema de lençol freático: dreno com filtro acoplado
- Rodovias rurais:
 - Rodovias em corte
 - Drenagem < 1 m da plataforma: dreno com filtro acoplado
 - Drenagem > 1 m da plataforma: dreno com filtro acoplado ou dreno a céu aberto
 - Rodovias em aterro
 - Drenagem no pé do talude

As recomendações incluem um desenho do sistema de drenagem recomendado. A Figura 2.11 traz o esquema do dreno com filtro acoplado recomendado para rodovias rurais onde o sistema de drenagem fica a menos de 1 m da plataforma; a Figura 2.12 traz o esquema de dreno a céu aberto (IRLANDA, 2004). O dreno a céu aberto é o único que se assemelha a uma sarjeta.

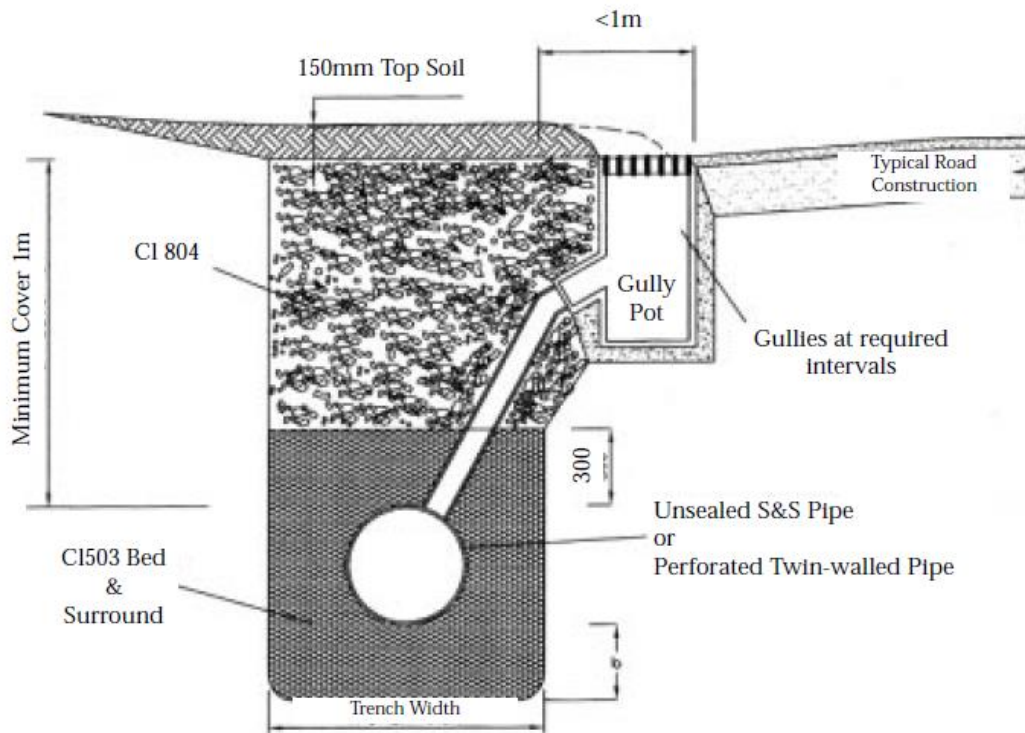


Figura 2.11: Desenho nº 3: sistema de drenagem a menos de 1 m da plataforma da rodovia

Fonte: IRLANDA, 2004.

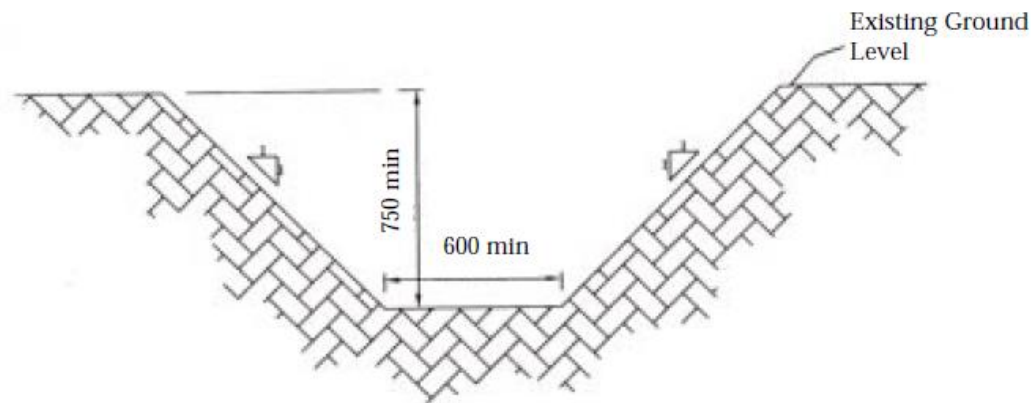


Figura 2.12: Desenho nº 5: canal a céu aberto

Fonte: IRLANDA, 2004.

Os Estados Unidos produziram em seu país o *Road Design Guide* (RDG) (Guia para o projeto de rodovias), que é reconhecido como referência em muitos países, incluindo o Brasil (MISSATO, 2011). Como lá a legislação que prevalece é a estatal, muitos estados possuem seus próprios guias de recomendação. Na Austrália, os estados produzem também material próprio.

As referências estado-unidense encontradas trazem semelhanças muito pertinentes com a normas brasileira, como, por exemplo, a menção de que um talude mais íngreme que 1:3 não é aceitável, e que deve-se levar em conta a zona livre para posicionamento de itens perigosos às margens das rodovias (McGEE *et al.*, 2009). O *MnDOT Road Design Manual*, que é o guia para projeto de rodovias do estado de Minnessota (E.U.A.), traz critérios de dimensionamento como:

- Uso de guias para vias urbanas somente com velocidade até 45 mph (aproximadamente 70 km/h);
- Obrigatoriedade de sarjeta de canteiro central em vias de mão dupla;
- Canais de drenagem em rodovias em corte com largura entre 120 e 180 cm e declividade longitudinal de 5% (MINESSOTA, 2012).

Além disso, o Órgão Federal de Transporte dos Estados Unidos possui uma publicação sobre como realizar a manutenção e melhoria dos sistemas de drenagem. A Figura 2.13, extraída de tal manual, traz o exemplo de uma vala considerada traspassável, que devem ser priorizadas no dimensionamento de drenagem de rodovias (McGEE *et al.*, 2009).



Figura 2.13: Exemplo de canal de drenagem traspassável nos Estados Unidos.

Fonte: McGEE *et al.*, 2009.

A publicação britânica normativa para o projeto de rodovias é o *Design Manual for Roads and Bridges* (Manual de projeto para estradas e pontes). No Volume 4 (Geotecnia e drenagem), Seção 2 (Drenagem), ele traz recomendações muito semelhantes às

brasileiras, como: canais de drenagem situados às margens das rodovias e imediatamente antes de barreiras longitudinais, quando houver; inclinações de 1:5 ou mais suaves para canais triangulares; inclinação de 1:4,5 ou mais suaves para canais trapezoidais; aceitação do uso de taludes de 1:4 para qualquer tipo de canal em ocasiões excepcionais; no caso do uso de taludes mais íngremes que os citados, é obrigatório o uso de contenção longitudinal.

2.3 ELEMENTOS DE DRENAGEM

Os elementos de drenagem são todos aqueles usados para captar, conduzir, desaguar e transpor águas pluviais e fluviais. O Manual de Drenagem publicado pelo DNIT (2006) os divide em quatro tipos principais:

- Transposição de talvegues: inclui bueiros, pontes e pontilhões;
- Drenagem superficial: inclui valetas de proteção de corte e de aterro, sarjetas de corte, aterro e de canteiro central, descidas e saídas d'água, caixas coletoras, bueiros de greide, dissipadores de energia, escalonamento de taludes e corta-rios;
- Drenagem do pavimento: inclui camada drenante, drenos rasos longitudinais, drenos laterais de base e drenos transversais; e
- Drenagem subterrânea ou profunda: inclui drenos profundos, drenos espinha de peixe, colchão drenante, drenos sub-horizontais, valetões laterais e drenos verticais.

Esse capítulo traz uma explicação breve sobre a função e o dimensionamento hidráulico dos elementos que são objeto de estudo dessa pesquisa, que são valetas e sarjetas

2.3.1 VALETAS

As valetas de proteção protegem o talude de corte, se valetas de proteção de corte, ou o pé do aterro, se valetas de proteção do aterro, das águas que possam escoar até o elemento protegido e diminuir a estabilidade do corpo estradal. As Figuras 2.14 e 2.16 correspondem a desenhos esquemáticos das valetas respectivamente de proteção de corte e de aterro, e nas Figuras 2.15 e 2.17 são mostrados exemplos de aplicações das valetas.

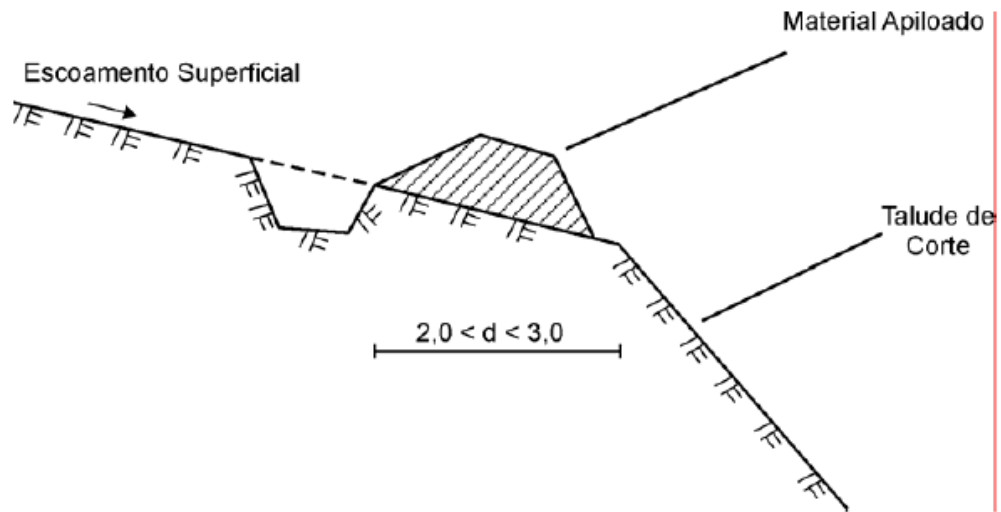


Figura 2.14: Esquema de valeta de proteção de corte

Fonte: DNIT, 2006.



Figura 2.15: Valeta de proteção de corte

Fonte: INTERVIAL, 2018.

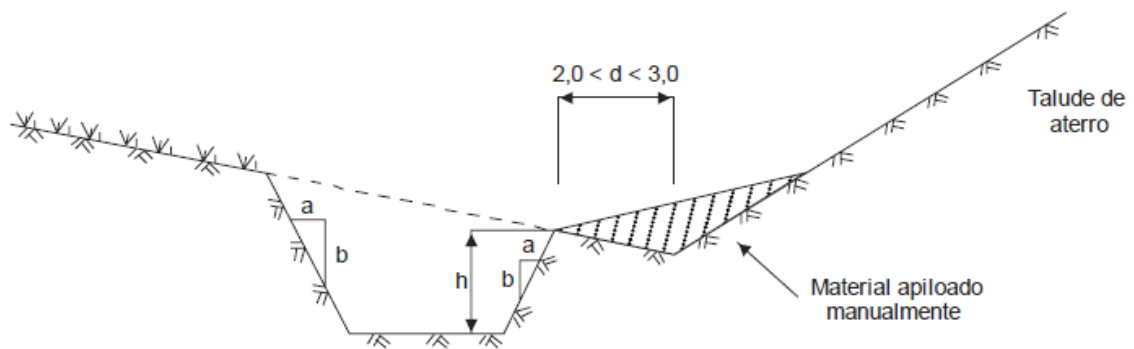


Figura 2.16: Esquema de valeta de proteção de aterro

Fonte: DNIT, 2006.



Figura 2.17: Valeta de proteção de aterro

Fonte: VOGELSANGER, 2018.

O tipo de seção mais recomendado para as valetas é o trapezoidal, podendo elas serem também retangulares ou, no caso da valeta de proteção de corte, triangulares. O dimensionamento hidráulico dos dois tipos de valeta é igual, podendo ser resumido no seguinte passo a passo:

- 1º - Arbitrar a seção transversal da valeta;
- 2º - Determinar a declividade;
- 3º - Fixar a velocidade máxima admissível e o coeficiente de rugosidade n em função do revestimento escolhido;
- 4º - Calcular, usando a fórmula de Manning e a equação da continuidade, o perímetro hidráulico, raio hidráulico, área molhada e altura da valeta.
- 5º - Verificar se a descarga afluyente está dentro do limite da vazão admissível. Se não, modificar a altura da valeta.
- 6º - Verificar se a velocidade de escoamento está dentro do limite da velocidade máxima admissível. Se não, modificar o revestimento.
- 7º - Determinar se o fluxo opera em regime crítico, supercrítico ou subcrítico, usando as fórmulas de h_c em função do tipo de seção (Apêndice E);
- 8º - Determinar o bordo livre, em função do tipo de revestimento (Apêndice E);
- 9º - Verificar necessidade de escalonamento de valetas, para manter a declividade abaixo do valor máximo de 2%.

2.3.2 SARJETAS

As sarjetas (Figura 2.18) são divididas em três tipos: sarjetas de corte, sarjetas de aterro e sarjetas de canteiro central.



Figura 2.18: Sistema de drenagem incluindo sarjetas e bueiro

Fonte: MET@LICA, 2012.

As sarjetas de corte captam as águas que se precipitam sobre a plataforma e sobre os taludes de corte, conduzindo-as até o ponto de saída adequado, que pode ser: a transição entre corte e aterro, a partir de onde a água escoar para fora da plataforma naturalmente; valeta de aterro; ou a caixa coletora do bueiro de greide. Todos os cortes devem possuir sarjetas de corte.

As sarjetas de aterro protegem o pé do talude, ou a borda do acostamento, de erosão. A presença delas é definida pela velocidade da água e por fatores econômicos, e são recomendadas em interseções.

As sarjetas de canteiro central (Figura 2.19) captam as águas provenientes das plataformas e do próprio canteiro central e as conduzem até as caixas coletoras dos bueiros de greide. São dimensionadas conforme as sarjetas de corte.



Figura 2.19: Execução de sarjeta de canteiro central

Fonte: EB, 2018.

a) Sarjetas de corte e de canteiro central

O dimensionamento das sarjetas de corte consiste em, após calculada a vazão de projeto, escolher a seção da sarjeta cuja capacidade de vazão seja compatível com aquela de projeto. Depois de escolhida a seção da sarjeta, é feito o cálculo do comprimento crítico para posicionar as saídas d'água e verificar se a velocidade do escoamento atende ao limite da erosão.

A sarjeta mais segura, e que deve ser a primeira opção dos projetistas, é a sarjeta triangular (Figura 2.20). Caso a vazão de projeto seja maior que os limites de capacidade de vazão para sarjeta triangular opta-se pela sarjeta trapezoidal (Figuras 2.21 e 2.22). A sarjeta trapezoidal é composta de meio-fio, para impedir que veículos desgovernados caiam na sarjeta, e podem ser capeadas descontinuamente, para impedir a entrada de finos. A terceira opção, no caso de vazão maior ou por critérios construtivos (se o corte for feito em rocha) é a sarjeta retangular (Figura 2.23). Essa sarjeta apresenta a vantagem de permitir a variação de profundidade ao longo de seu comprimento (DNIT, 2006).

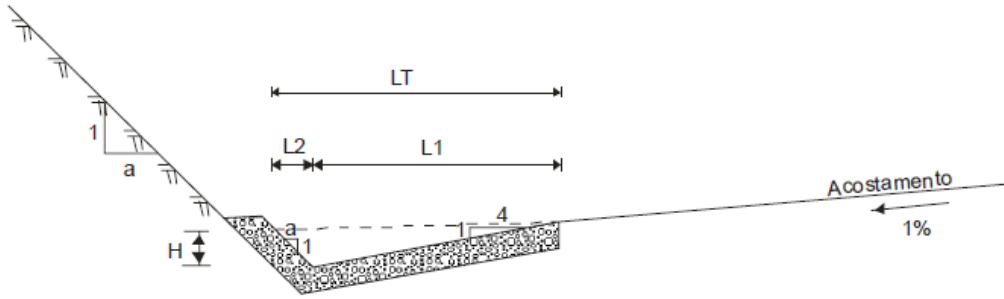


Figura 2.20: Esquema de sarjeta triangular

Fonte: DNIT, 2006.

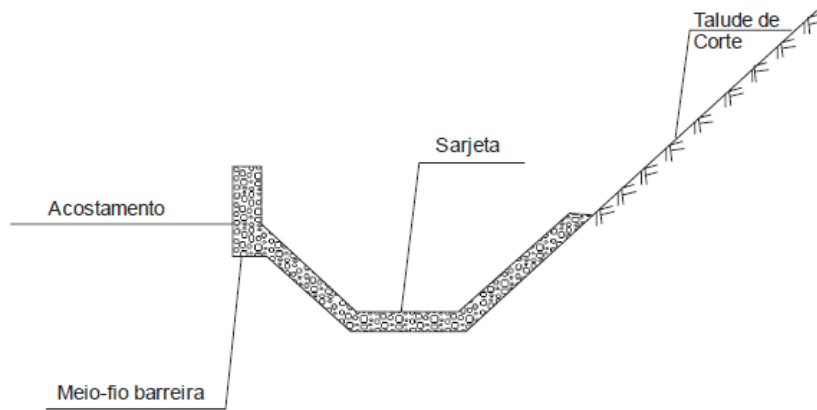


Figura 2.21: Esquema de sarjeta trapezoidal

Fonte: DNIT, 2006.

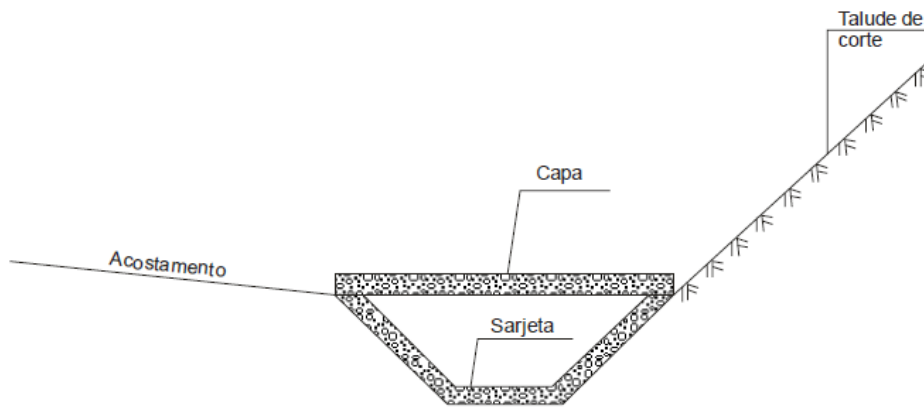


Figura 2.22: Esquema de sarjeta trapezoidal com capa

Fonte: DNIT, 2006.

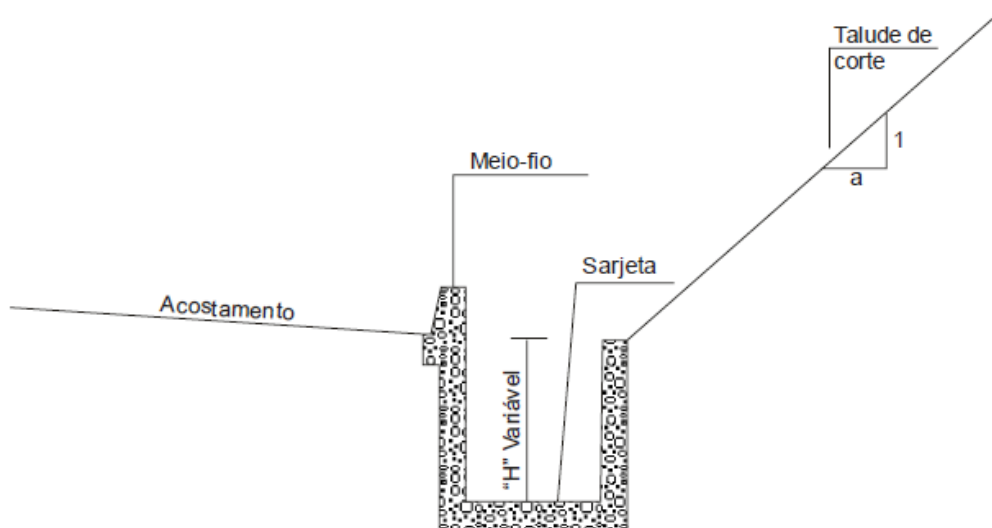


Figura 2.20: Esquema de sarjeta retangular

Fonte: DNIT, 2006.

A vazão de projeto é calculada usando a fórmula:

$$Q = \frac{C \times i \times A}{36 \times 10^4}$$

Onde C é o coeficiente médio de escoamento superficial (adimensional); i é a intensidade de precipitação (cm/h), calculada para duração de 5 min e tempo de retorno de 10 anos; e A é a área de contribuição por metro linear de sarjeta (m²/m). A bacia de contribuição está esquematizada pela Figura 2.24.

$$C = \frac{L_1 \times C_1 + L_2 \times C_2}{L_T}$$

$$A = (L_1 + L_2) \times d$$

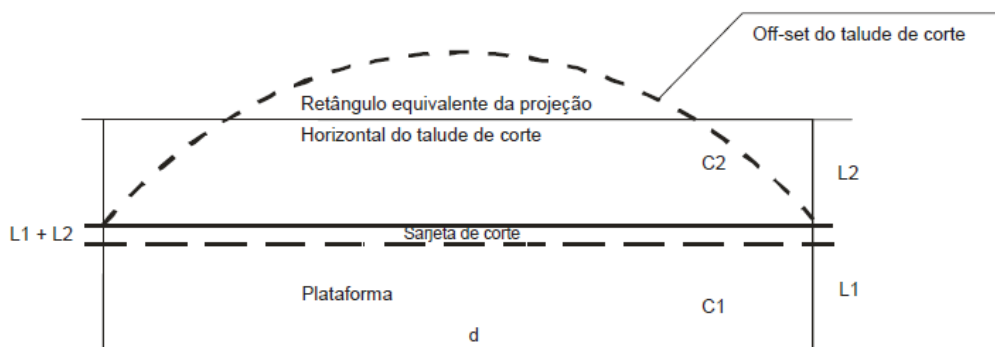


Figura 2.21: Bacia de contribuição para a sarjeta

Fonte: DNIT, 2006.

A vazão da sarjeta vem da união das equações de Manning e de continuidade, o que resulta em:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Onde n é o coeficiente de rugosidade (adimensional); A é a área molhada da sarjeta (m^2); R é o raio hidráulico (m) e I é a declividade da sarjeta (m/m).

Unindo as duas equações, o comprimento crítico pode ser obtido pela fórmula:

$$d = 36 \times 10^4 \times \frac{A \times R^{2/3} \times I^{1/2}}{C \times i \times L \times n}$$

b) Sarjetas de aterro

As sarjetas de aterro mais usadas são do tipo meio-fio simples ou meio-fio-sarjeta conjugados. Deve-se usar essa sarjeta com muita precaução, pois elas diminuem a segurança na rodovia (DNIT, 2006).

A utilização desse elemento está condicionada ao cálculo de velocidade de erosão na borda da plataforma. Caso seja feita a opção de usá-lo, o dimensionamento hidráulico consiste em obter a máxima extensão admissível da sarjeta, de modo que não haja transbordamento.

Para o cálculo da velocidade de escoamento, precedem-se três cálculos: o comprimento da reta de maior declive, a declividade da reta de maior declive e a determinação da descarga no bordo da plataforma. Por fim, chega-se à fórmula:

$$V = \frac{I^{3/10} \times K^{3/5} \times C^{2/5} \times i^{2/5} \times L^{2/5} \times (\alpha^2 + \beta^2)^{1/5}}{166,92 \times \beta^{2/5}}$$

Onde I é a declividade da reta de maior declive (fórmula a seguir); K é o coeficiente de rugosidade de *Strickler*, obtido pelo inverso do coeficiente de *Manning*; C é o coeficiente de escoamento, função do revestimento; i é a intensidade de precipitação (cm/h); L é a largura do implúvio (Figura 2.25), α é a declividade longitudinal de rodovia e β é a declividade transversal da plataforma da rodovia (Figura 2.26).

$$I = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$$

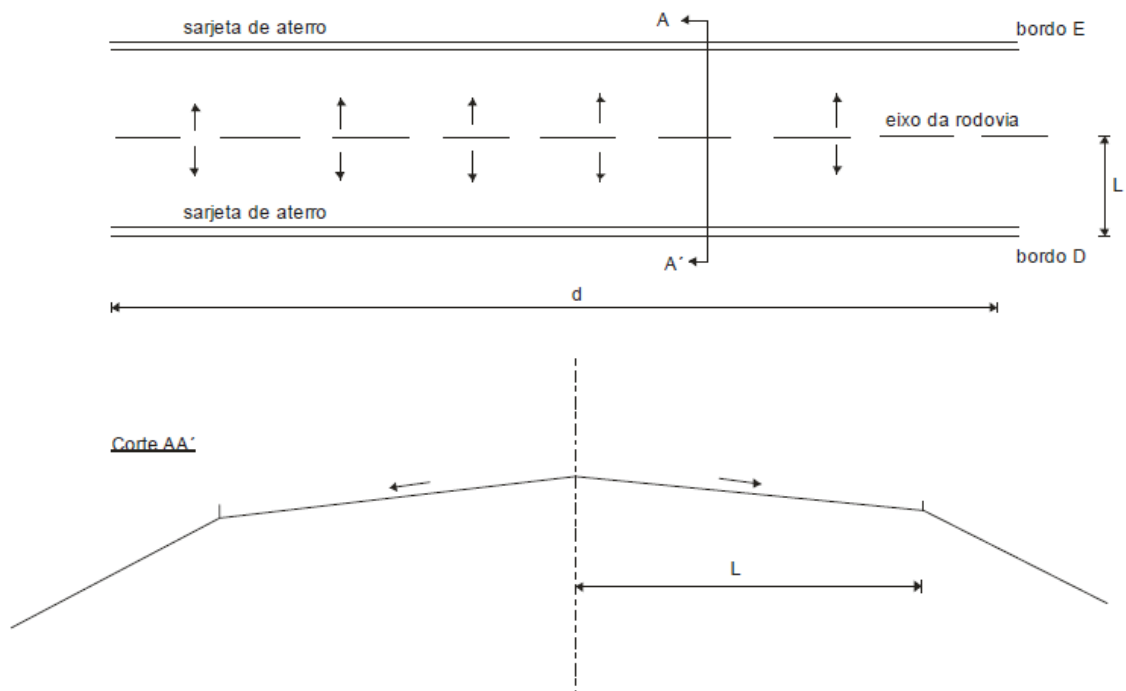


Figura 2.22: Vistas do pavimento para dimensionamento das sarjetas de aterro
 Fonte: DNIT, 2006.

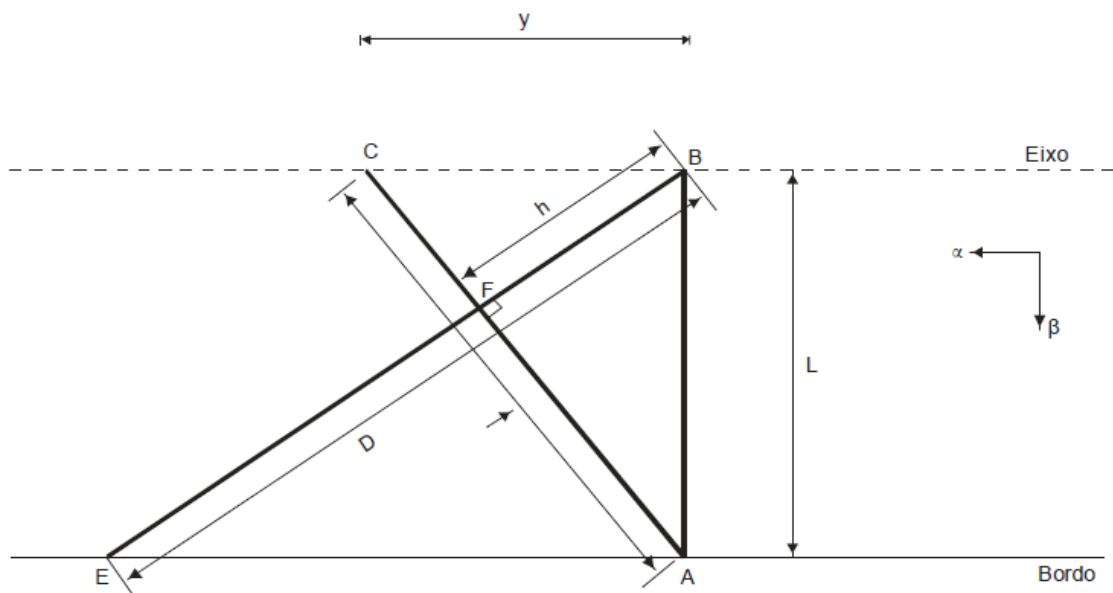


Figura 2.23: Direção de maior declive
 Fonte: DNIT, 2006.

Caso a velocidade seja maior que a admissível para a não erosão do material do pé do aterro, se prova necessária a construção do dispositivo. O cálculo da máxima extensão admissível é feito conforme as sarjetas de corte.

2.3.3 ÁLBUM DE PROJETO-TIPO

O DNIT (2018), pela publicação IPR-736, traz o “Álbum de projetos-tipo de dispositivos de drenagem”, uma referência para ser usada pelos projetistas. Publicado pela primeira vez em 1988, pelo antigo DNER, está atualmente em sua quinta edição (2018) e traz uma padronização dos elementos de drenagem, para facilitar a execução e leitura do projeto de drenagem de rodovias contratadas pelo DNIT.

3 MÉTODO

Este capítulo traz a metodologia proposta para desenvolver o estudo. De modo geral, o estudo foi desenvolvido em três etapas do modo a viabilizar o adequado entendimento dos elementos de drenagem superficial e a segurança viária. O esquema representativo da metodologia segue apresentado na Figura 3.1.

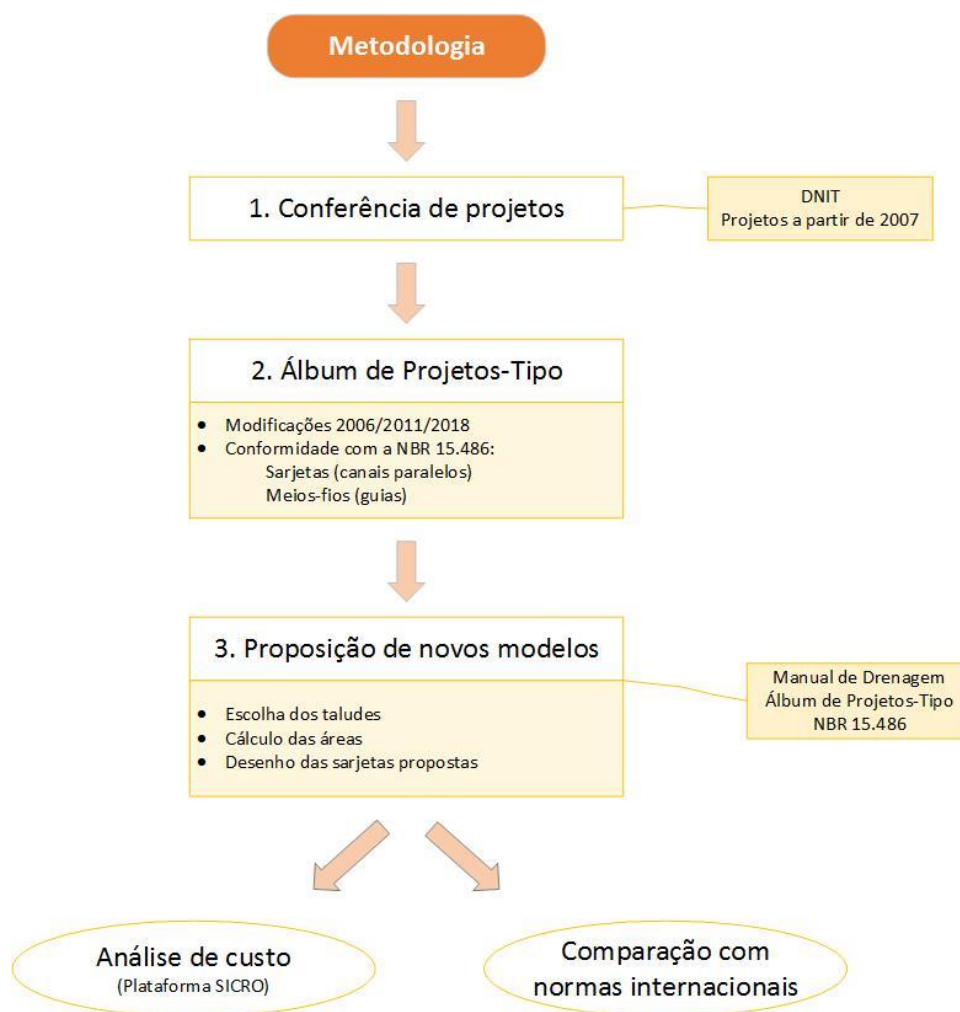


Figura 3.1: Esquema metodológico

3.1 CONFERÊNCIA DE PROJETOS

Inicialmente, havia a ideia de trabalhar com os projetos rodoviários no Distrito Federal. Para tanto, foram baixados, do site do DNIT, três projetos de melhoria e/ou reforma e/ou ampliação de trechos rodoviários dentro da região do Distrito Federal e do Goiás. As características dos projetos são dadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Dados das rodovias usadas para estudo de caso

Rodovia	BR – 414/GO	BR – 070/GO	BR – 080/GO
Trecho	Entr. BR-153(A)/GO-244/1501 (Porantagu) – Entr. BR-153/GO-222/330 (Anápolis)	Div. DF/GO – Div. GO/MT (Rio Araguaia) (com Aragarças/Barra do Graça)	Entr. BR-251(A) (Div. DF/GO) – Entr. GO-244 (B) (Div. GO/MT) (Luiz Alves)
Subtrecho	Entr. GO-237(A) (Niquelândia) – Entr. BR-153/GO/222/330 (Anápolis)	Entr. GO-070(B)/432 (Itapirapuã) – Entr. BR-158(A)	Entr. BR-251(A) (Div. DF/GO) – Entr. BR-153(A)/GO-342(B)
Segmento	km 200,90 ao km 438,80	km 290,10 ao km 472,10	km 0,00 ao km 181,30
Extensão	237,90 km	182,00 km	181,30 km
PNV	414BGO0080/414BGO0134	070BGO0210/070BGO0265	080BGO0090/080BGO0150

Ao iniciar a análise, notou-se que todos os três anteprojetos traziam os mesmos elementos de drenagem superficial, com as mesmas características, e inclusive a mesma nomenclatura. Isso porque, em todos os projetos, as informações de drenagem foram retiradas do projeto tipo do DNIT (2006a) (publicação IPR-725). Não há indicação no projeto de onde esses elementos serão aplicados, nem conexão explícita entre a vazão suportada e o estudo hidrológico.

A publicação IPR-725 do DNIT (2006a), Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem, data de 2006, um ano antes da publicação da primeira edição da norma NBR 15.486, Segurança no Tráfego – Dispositivos de Contenção Viária – Diretrizes de projeto e ensaios de impacto. Portanto, é de se esperar que os projetos feitos somente seguindo o dimensionamento proposto pelo Álbum do DNIT tenham elementos em desacordo com as recomendações normativas atuais.

Cabe ressaltar que, na introdução do Álbum, está redigido o seguinte:

“ Com o objetivo de racionalizar e sistematizar a apresentação dos projetos de drenagem e obras-de-arte correntes contratados pelo DNER, facilitando o seu entendimento e produzindo benefícios em nível de execução, foi elaborado em 1988 [...] a **1ª Edição do Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem do DNER.** [...] **Ao projetista ficou franqueada a liberdade de selecionar o dispositivo mais apropriado ao seu problema específico, procedendo aos dimensionamentos hidráulicos necessários à confirmação de sua adequação.** Entretanto, com o passar dos anos, com a introdução de novas técnicas e, principalmente com o surgimento de novos materiais, houve necessidade de se proceder à revisão daqueles modelos, resultando alterações e adaptações introduzidas nos Projetos-Tipo, cujas dimensões e formas conduzem a procedimentos executivos particulares e a custos de construção diferenciados. Nessas circunstâncias, tornou-se necessário que se procedesse, sob a Supervisão do IPR, a revisão do Álbum, dando origem a esta **2ª Edição do Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem, do DNIT.**”

Entende-se, portanto, que o seguimento dos projetos indicados no Álbum não é obrigatório. Contudo, uma vez que todos os projetos nas regiões do Goiás e Distrito Federal apresentaram somente os elementos do Álbum, a pesquisa foi executada a partir destes.

3.2 ÁLBUM DE PROJETOS-TIPO

Nesse ano de 2018, o Álbum de Projetos-Tipo encontra-se em sua quinta edição. Sendo assim, a primeira parte da metodologia consistiu em uma comparação entre as três edições consideradas relevantes do álbum:

- A segunda edição (2006), por se tratar da utilizada nos projetos averiguados inicialmente, e por ser a primeira publicada pelo órgão DNIT;
- A quarta edição (2011), por contar na revisão bibliográfica dentro do artigo produzido por Rocha *et al.* (2015);
- A quinta edição (2018), por ser a atualmente em vigência.

A comparação resultou em tabela mostrando as alterações ocorridas nesses projetos de referência ao longo desses 12 anos.

Em seguida, foi feita uma verificação se a edição mais atual (2018) atende às recomendações de segurança da NBR 15.486 (2016). A análise procedeu da seguinte maneira:

- Identificação dos elementos que são englobados pela NBR 15.486: canais laterais (sarjetas e valetas) e guias ou meios-fios.
- Elaboração de tabela com os dados geométricos dos elementos.
- **Para os canais:**
 - Criação de gráfico no Excel[®] que se aproxime dos gráficos que trazem a relação preferível entre os taludes frontal e posterior da NBR 15.486 para esses elementos, conforme Figuras 2.12 e 2.13. Os gráficos gerados constam das Figuras 3.2 e 3.3. A fórmula constante na figura é a curva gerada. O valor de R^2 indica a aproximação entre a curva gerada e os pontos de referência obtidos pelo gráfico da norma. Quanto mais próximo de 1, mais exato.
 - Cálculo dos taludes frontal e posterior.

- Acréscimo dos elementos referentes aos canais no gráfico que indica a recomendação normativa.
- Análise de conformidade das dimensões do canal com o recomendado pela Norma.
- Cálculo percentual de elementos conforme e não-conforme.
- **Para as guias:**
 - Verificação se a altura da guia acima do pavimento ultrapassa ou não o limite de 10 cm, recomendado pela NBR 15.486.
 - Cálculo percentual de elementos conforme e não-conforme.

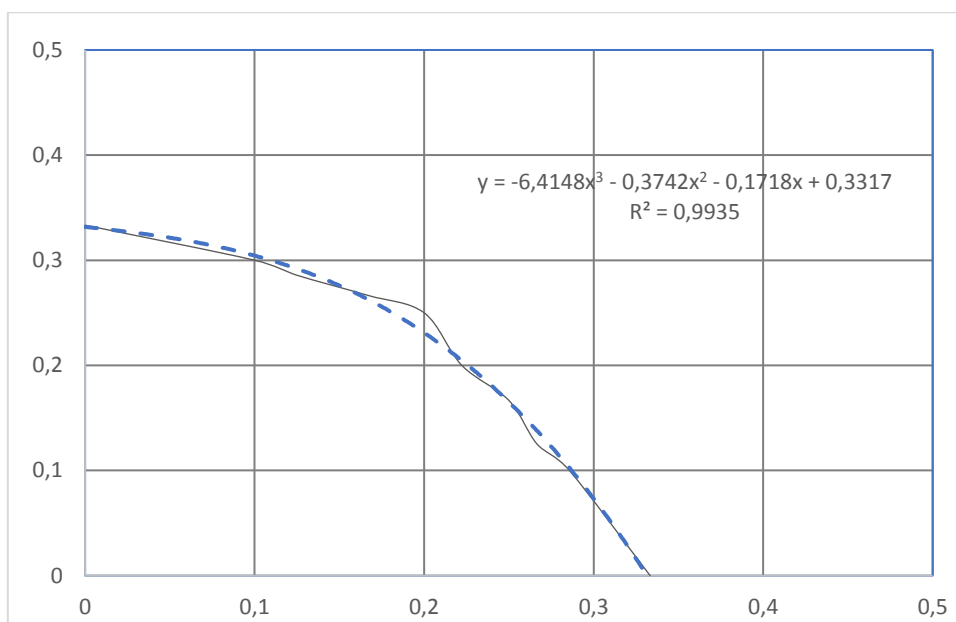


Figura 3.2: Seção triangular preferencial para canais com mudança abrupta de declividade (área contida pelo gráfico)

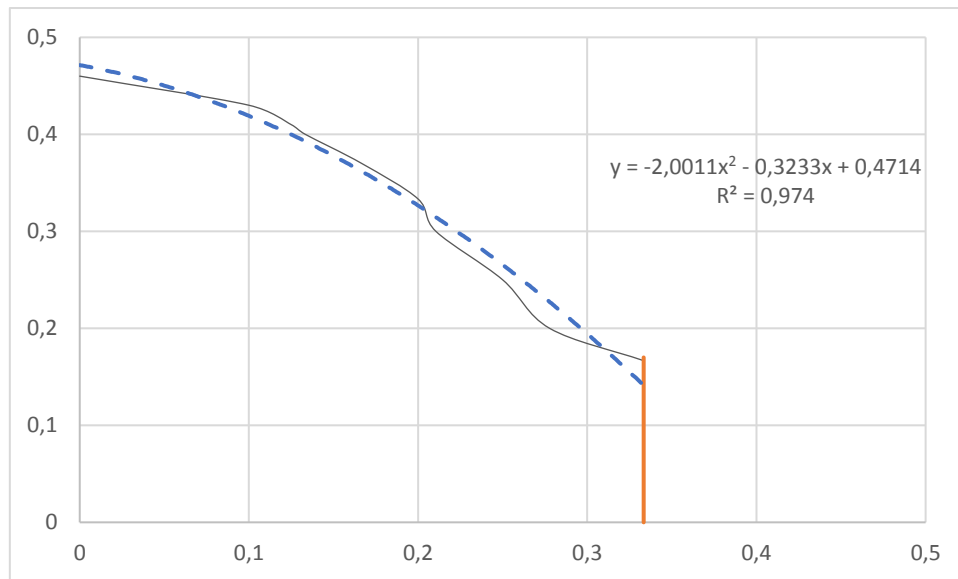


Figura 3.3: Seção retangular ou trapezoidal preferencial para canais com mudança gradual de declividade (área contida pelos dois gráficos)

Rocha *et al.* (2015) seguiram a mesma metodologia avaliativa dos projetos da quarta edição do Álbum de Projetos-Tipo do DNIT. Entendendo-se que não houve mudança significativa no dimensionamento de elementos de drenagem superficial, é esperado encontrar resultado igual ou similar ao do trabalho citado.

Uma vez que foram encontradas divergências entre o Álbum de Projetos-Tipo e o Manual de Drenagem, ambos do DNIT, a tabela SICRO foi também utilizada para se conhecer qual o padrão de compra e venda dos elementos de drenagem.

3.3 PROPOSIÇÃO DE NOVOS MODELOS

A terceira parte executada foi uma sugestão de um novo desenho para os elementos de drenagem estudados que atendessem à NBR 15.486 (2016).

Para os canais triangulares, os tamanhos propostos atendem aos três itens abaixo descritos:

- Manter uma área igual ou maior à área do elemento de referência do Álbum de Projetos-Tipo;
- Manter o mesmo talude frontal em 1:4, seguindo a recomendação do Manual de Drenagem do DNIT (2006), o que resulta em talude posterior 1:6 ou mais suave;
- Usar dimensões sempre múltiplas de 5.

A decisão de manter sempre um talude frontal de 1:4 foi tomada porque várias sarjetas possuíam ambos os taludes fora dos limites permitidos pela NBR 15.486 (2016).

Para os canais retangulares, a proposta foi utilizar taludes iguais de ambos os lados, ou seja, usar um talude de 1:4. As alturas dos canais foram definidas para se ter uma área maior ou igual à das sarjetas atuais. Para a base menor, foram adotadas duas metodologias: a primeira segue o desenho de referência da NBR 15.486 (2016), que indica que a base menor deve ter um comprimento de 1,20 m; a segunda usa o mesmo tamanho da projeção horizontal do talude, ou seja, 4 vezes a altura. Esse dimensionamento alternativo foi adotado porque as sarjetas encontradas no primeiro método são dimensões colossais em comparação ao usado atualmente. Além disso, a proposição de 1,20 m não aparecia na primeira edição da norma.

No caso das sarjetas de canteiro central, para as que são triangulares foi mantido o mesmo talude de ambos os lados. O talude escolhido foi 1:5, talude mais íngreme que atende as recomendações normativas. Para as trapezoidais, a metodologia seguida foi a mesma que as demais trapezoidais, incluindo a utilização de duas alternativas de dimensionamento.

Foi feito também um orçamento de execução para os canais propostos, tendo como base a tabela SICRO. O valor encontrado foi comparado com o custo de execução dos elementos de drenagem atuais. Essa comparação questiona a viabilidade econômica de executar um canal de drenagem atendendo todas as recomendações da NBR 15.486, e justifica a apresentação da proposta alternativa para os canais trapezoidais mencionada.

Para se quantificar o custo por metro da sarjeta proposta nesse trabalho, adotou-se a seguinte metodologia:

- Planilhar a composição analítica de custos das sarjetas usadas no mercado de trabalho, tomando como base os valores da tabela SICRO de maio/2018;
- Planilhar proporção entre tipo, área e perímetro de cada sarjeta e seus respectivos insumos;
- Calcular qual relação sofre menos variação entre os insumos e a área ou perímetro.
- A partir da relação encontrada, calcular o valor de tal insumo para a sarjeta proposta.

- A quantidade dos demais insumos é encontrada pela razão entre o valor médio do insumo buscado (I) e o valor médio do insumo referência (Ri) multiplicada pela quantidade do insumo de referência calculado (Rc):

$$I = \frac{\bar{I}}{Ri} \times Rc$$

O Apêndice B traz os cálculos acima pontuados detalhadamente.

Após encontrada a quantidade de cada insumo, tem-se o seu custo unitário pelos valores do SICRO. O custo por metro linear de sarjeta será dado pela somatória dos custos unitários de cada insumo.

Como última etapa deste trabalho, foi feito o registro de referências normativas internacionais. O objetivo de trazer essa informação foi de avaliar se a norma brasileira é condizente com as de outros países. Os manuais de projetos rodoviários da Austrália, Irlanda, Estados Unidos e Reino Unido foram escolhidos por serem países tradicionais na prática de segurança viária.

4 RESULTADOS

Os resultados apresentados foram divididos em itens tal qual apresentados no Capítulo 3: Metodologia.

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE EDIÇÕES DO ÁLBUM DE PROJETOS-TIPO DO DNIT

Primeiramente, é importante ressaltar que as valetas de proteção de corte e aterro não serão avaliadas quanto à norma NBR 15.486, pois elas se situam nos pés dos cortes e aterros, respectivamente, ou seja, no limite da zona livre.

A Tabela 4.1 traz a primeira parte executada da metodologia, ou seja, a comparação entre as três edições do Álbum de Projetos-Tipo de Elementos de Drenagem do DNIT (edições de 2006, 2011 e 2018). É importante ressaltar que não se teve acesso diretamente à quarta edição do álbum (2011), e os dados aqui apresentados foram retirados do trabalho de Rocha *et al.* (2015).

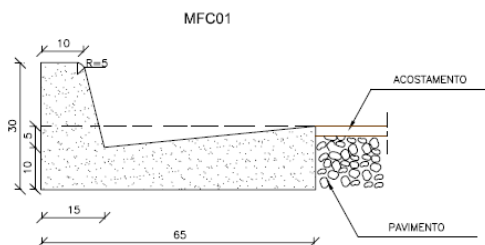
Como pode ser observado na Tabela 4.1, houve uma mudança de nivelamentos das sarjetas STC 08, SZC 02 e SZG 02 entre a segunda e a quarta edição, que foi mantida na quinta edição. No caso da STC 08, houve uma suavização do talude posterior na quarta edição, que na quinta foi retomado ao tamanho anterior. Na SZC 01, é possível observar uma mudança no seu tamanho entre a segunda e a quarta edição, que também foi mantida na quinta edição. Esse aumento no tamanho da sarjeta não modificou os taludes frontal nem posterior.

Houve também, na quinta edição, uma mudança na inclinação de todos os meios-fios de concreto (MFC 01 a MFC 08). Essa mudança consistiu na suavização da inclinação do meio-fio, exemplificada pela Figura 4.1. Por mais que possa significar uma mudança vantajosa no sentido da segurança, já que a análise está sendo feita do ponto de vista somente da NBR 15.486 (2016), e a restrição ditada por esta norma para esses elementos se refere somente à altura total, esta mudança não foi relevante para a segurança. As demais modificações feitas nas sarjetas também não implicaram mudanças do ponto de vista de segurança viário trazido pela norma em questão.

Tabela 4.1: Mudanças ocorridas nas atualizações do Álbum de Projetos-Tipo de Elementos de Drenagem do DNIT

2ª Ed. – 2006	4ª Ed. – 2011	5ª Ed. – 2018

Edição de 2006



Edição de 2018

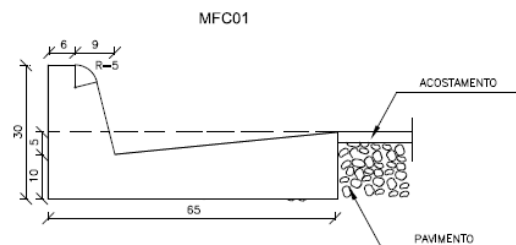


Figura 4.1: Exemplo de modificação na inclinação do meio-fio entre as edições mais antigas e a mais recente do Álbum de Projetos-Tipo de Elementos de Drenagem do DNIT

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE ELEMENTOS PADRONIZADOS E RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

As Figuras 4.1 e 4.2 trazem os resultados das análises feitas para as sarjetas do Álbum de Projetos-Tipo (2018) de acordo com a NBR 15.486 (2016), pela metodologia descrita no capítulo 3. A Figura 4.1 se refere aos canais triangulares, e a Figura 4.2, aos trapezoidais. Para ambas as figuras, a área contida pelo gráfico representa a relação preferencial entre os taludes frontal e posterior das sarjetas.

As Figuras 4.2 e 4.3 trazem a equação que foi utilizada para fazer a aproximação do desenho apresentado na norma. O R^2 indica o tanto que a equação utilizada se aproxima do gráfico gerado pela ligação dos pontos usados como referência. Ele varia de 0 a 1, sendo quanto mais próximo de 1, mais preciso.

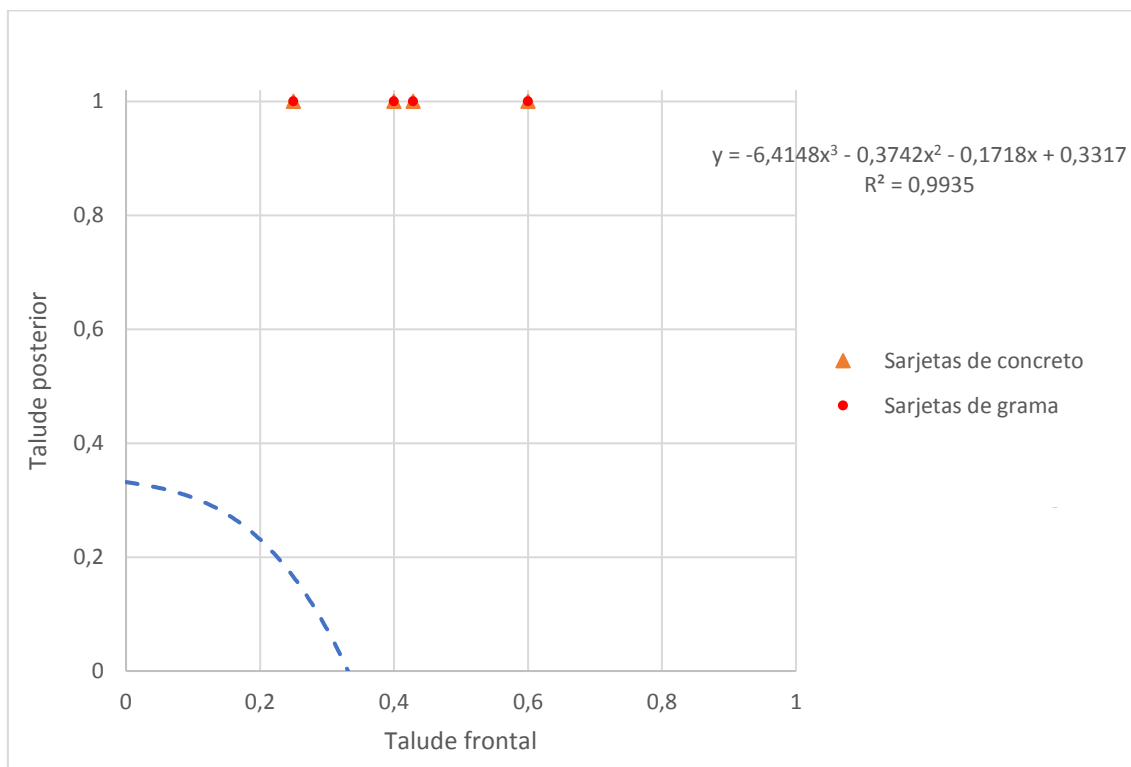


Figura 4.2: Resultados para canais com mudança abrupta de declividade (triangulares)

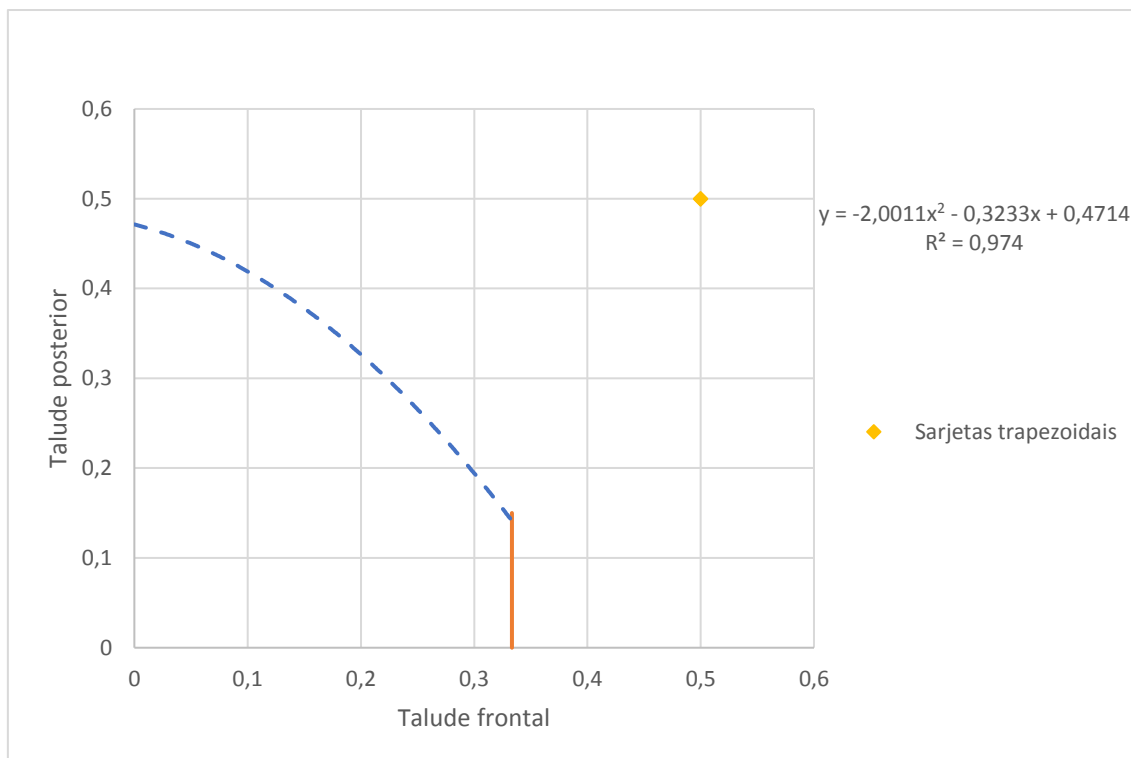


Figura 4.3: Resultado para canais com mudança gradual de declividade (retangulares).

Como pode ser observado pelos resultados representados nas Figuras 4.2 e 4.3, nenhum dos canais está atende as recomendações da NBR 15.486. Inclusive, alguns canais apresentam uma discrepância tão grande em relação às recomendações, que não foram incluídos no gráfico, pois possuem taludes mais íngremes que 1:1, como é o caso das sarjetas triangulares de concretos STC 05 a STC 08.

É importante salientar que os elementos padronizados pelo Álbum não correspondem sequer às recomendações do próprio Manual de Drenagem do DNIT. Esse manual recomenda para as sarjetas que elas sejam projetadas no nível do pavimento, com um talude frontal de 1:4 (0,25) e o talude posterior igual à declividade do terreno. Com exceção da Sarjeta Trapezoidal de Concreto 01 (STC 01), nenhuma das outras sarjetas está alinhada com essas recomendações.

Outro ponto importante de ser mencionado é que a NBR 15.486 recomenda taludes 1:3 ou mais suaves. Ou seja, utilizar um talude 1:1 imaginando acompanhar a declividade natural do terreno também não deveria ser aceito do ponto de vista da segurança.

A Tabela 4.2 traz os resultados de quais tipos de meio-fio atendem (CONFORME) ou não atendem (NÃO CONFORME) o limite de 10 cm recomendado pela NBR 15.486.

Tabela 4.2: Resultado para meios-fios de concreto

GUIAS DE CONCRETO					
N	Largura do topo (cm)	Preenchimento de concreto (cm)	Altura acima do pavimento (cm)	Altura da guia (cm)	Resultado
1	10	10	15	20	NÃO CONFORME
2	11	10	2	7	CONFORME
3	9	10	13	15	NÃO CONFORME
4	11	10	2	4	CONFORME
5	9	15	15	15	NÃO CONFORME
6	11	15	4	4	CONFORME
7	5	15	10	10	CONFORME
8	11	7	25	25	NÃO CONFORME

Apenas 50% dos meios-fios padronizados pelo Álbum seguem as recomendações normativas. Isso pode não configurar um problema, se estes se localizarem nos limites da zona livre. Não há, nos projetos estudados, indicação explícita da localização onde se encontram esses elementos.

4.3 SUGESTÕES DE REDESENHO DOS ELEMENTOS DE DRENAGEM SUPERFICIAL

As Figuras 4.4 a 4.21 foram feitas no AutoCAD, seguindo os critérios descritos no Capítulo 3 e trazem a representação das novas configurações para as sarjetas triangulares (6 modelos) e sarjetas trapezoidais (6 modelos para Alternativa 1 e 6 modelos par Alternativa 2). Todas as dimensões estão em cm.

4.3.1 SARJETAS TRIANGULARES

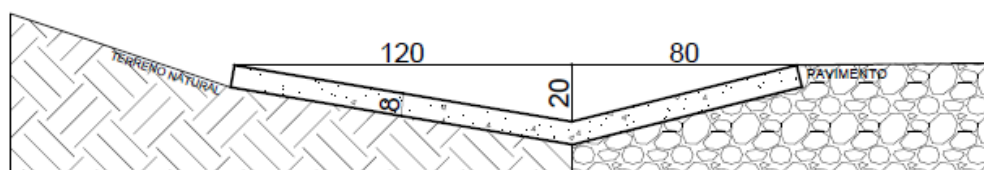


Figura 4.4: Sarjeta Triangular de Concreto Revisada 01 (STC 01r)

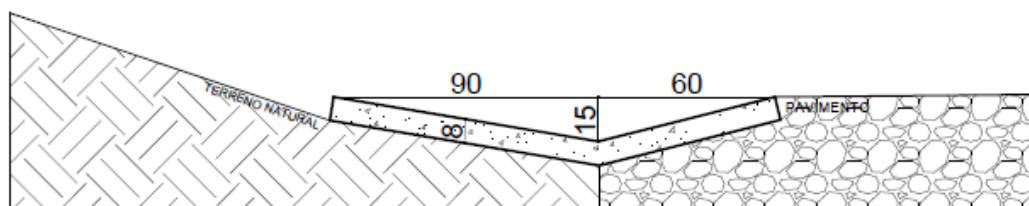


Figura 4.5: Sarjeta Triangular de Concreto Revisada 02 (STC 02r)

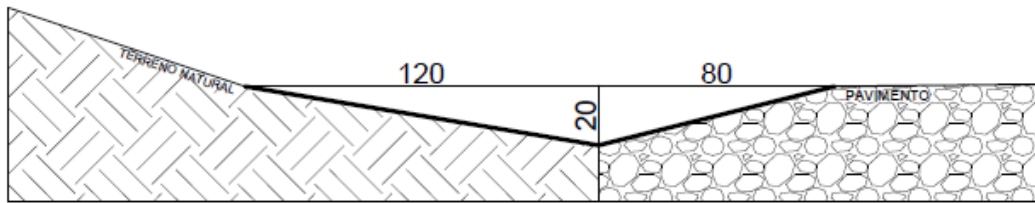


Figura 4.6: Sarjeta Triangular de Grama Revisada 01 (STG 01r)

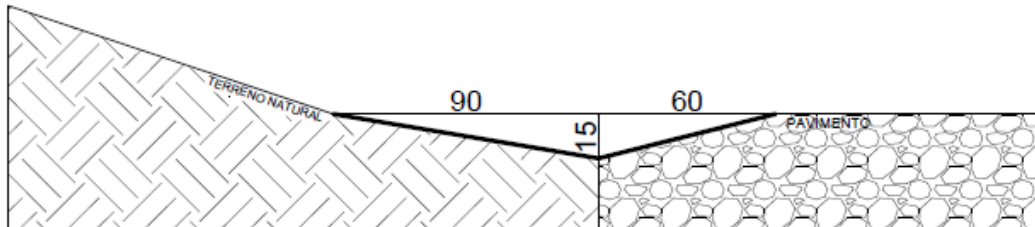


Figura 4.7: Sarjeta Triangular de Grama Revisada 02 (STG 02r)

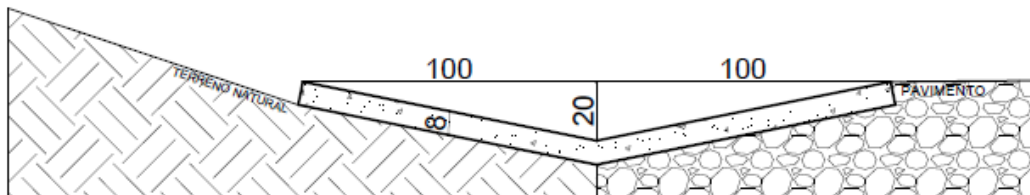


Figura 4.8: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 01 (SCC 01r)

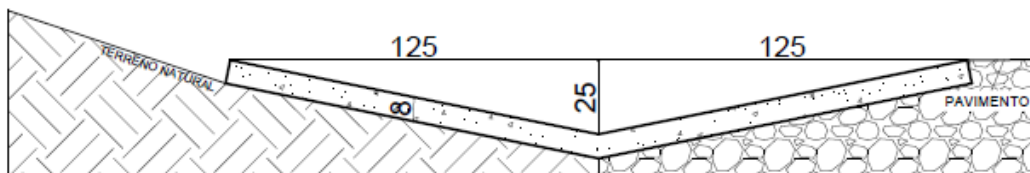


Figura 4.9: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 02 (SCC 02r)

4.3.2 SARJETAS TRAPEZOIDAIS: ALTERNATIVA 1

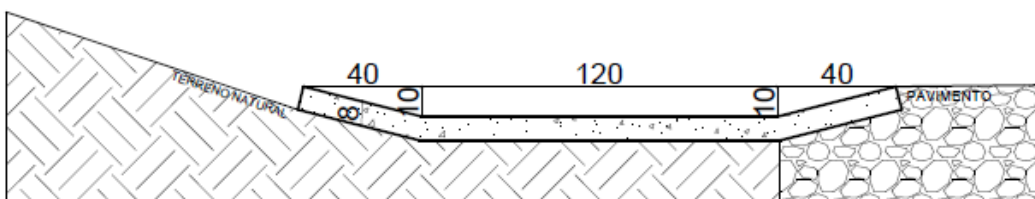


Figura 4.10: Sarjeta Trapezoidal de Concreto Revisada 01 (SZC 01-1r)

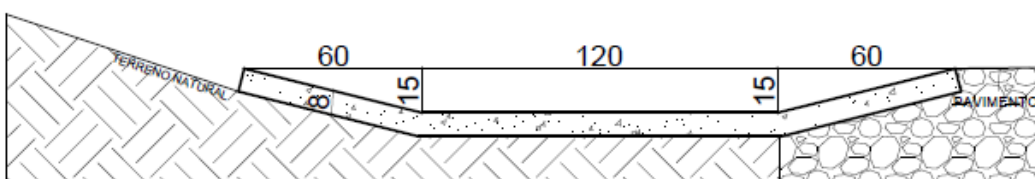


Figura 4.11: Sarjeta Trapezoidal de Concreto Revisada 02 (SZC 02-1r)

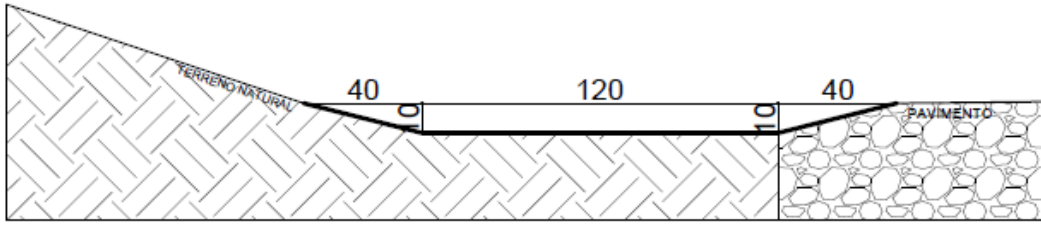


Figura 4.12: Sarjeta Trapezoidal de Grama Revisada 01 (SZG 01-1r)

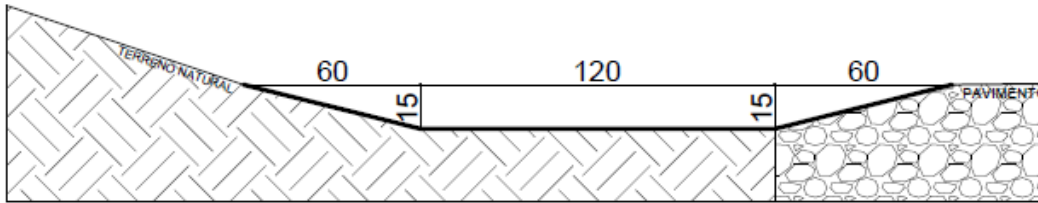


Figura 4.13: Sarjeta Trapezoidal de Grama Revisada 02 (SZG 02-1r)

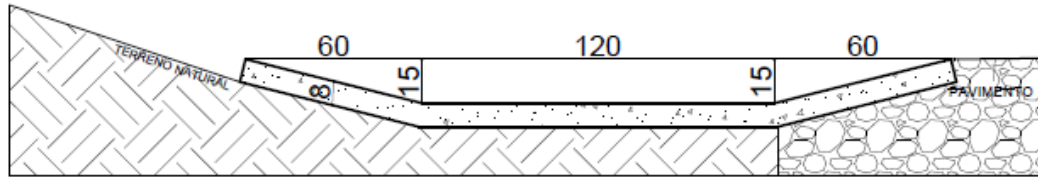


Figura 4.14: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 03 (SCC 03-1r)

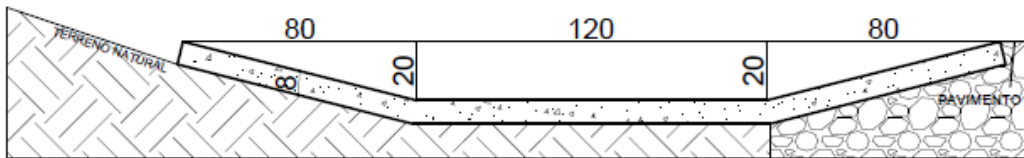


Figura 4.15: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 04 (SCC 04-1r)

4.3.3 SARJETAS TRAPEZOIDAIS: ALTERNATIVA 2

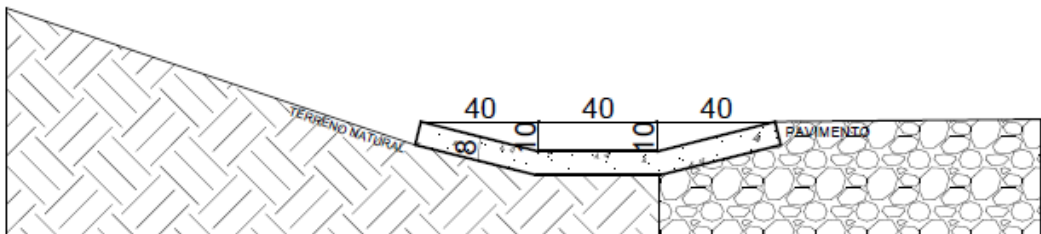


Figura 4.16: Sarjeta Trapezoidal de Concreto Revisada 01 (SZC 01-2r)

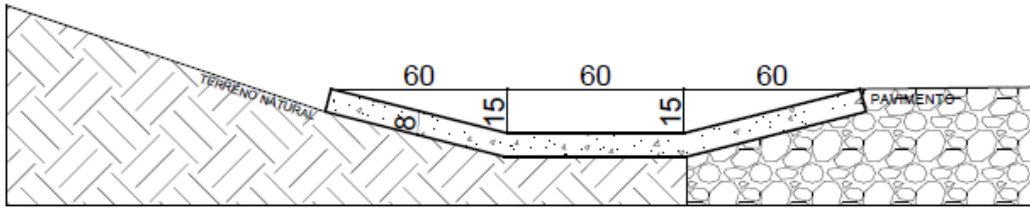


Figura 4.17: Sarjeta Trapezoidal de Concreto Revisada 02 (SZC 02-2r)

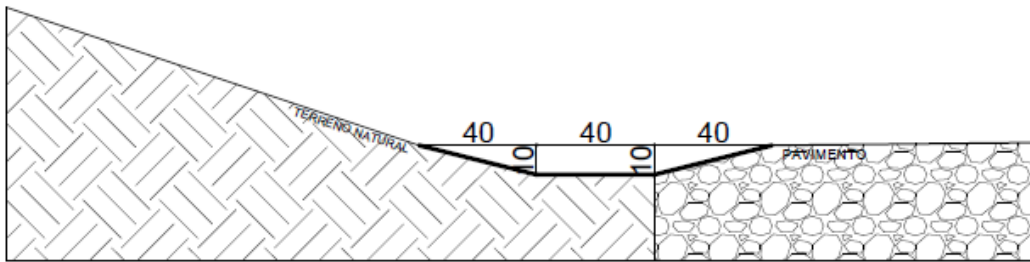


Figura 4.18: Sarjeta Trapezoidal de Grama Revisada 01 (SZG 01-2r)

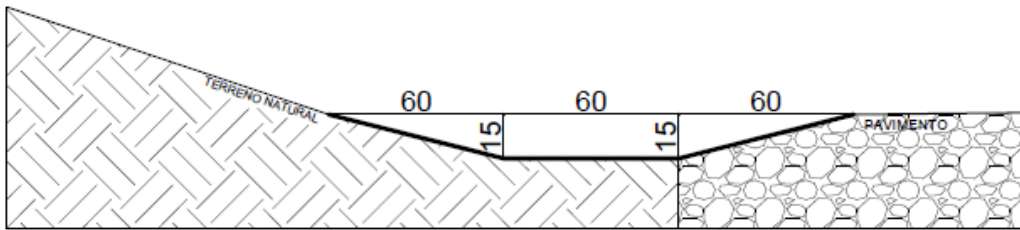


Figura 4.19: Sarjeta Trapezoidal de Grama Revisada 02 (SZG 02-2r)

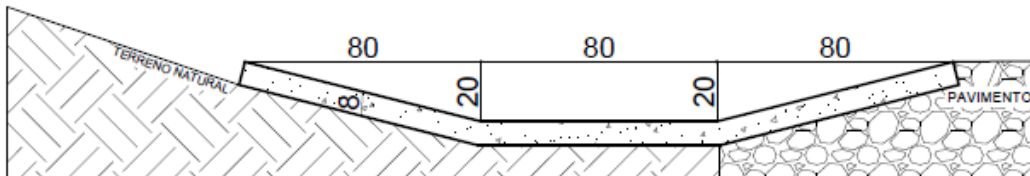


Figura 4.20: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 03 (SCC 03-2r)

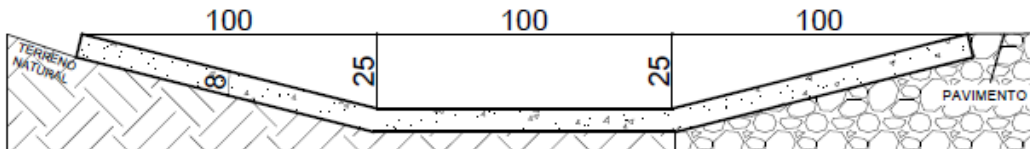


Figura 4.21: Sarjeta de Canteiro Central Revisada 04 (SCC 04-2r)

4.4 COMPARAÇÃO DE CUSTO

As Tabelas 4.3 e 4.4 trazem os custos por tipo de sarjeta de forma a estabelecer um comparativo entre os custos das sarjetas propostas e os custos das sarjetas usadas atualmente. As referências utilizadas para os cálculos de custo são a Tabela SICRO de maio/2018 e a Tabela B.1, constante no apêndice B. A linha final, que se refere ao preço geral, foi obtida pela média de preço de todas as sarjetas, utilizando cada uma das alternativas de dimensionamento.

Tabela 4.3: Comparação de custos por metro linear entre sarjetas atuais e propostas usando a Alternativa 1 para as sarjetas trapezoidais

Tipo	ORIGINAL	REVISADO	Varição	
Sarjetas triangulares de concreto	R\$ 47,68	R\$ 73,88	R\$ 26,19	55%
Sarjetas triangulares de grama	R\$ 16,47	R\$ 20,74	R\$ 4,27	26%
Sarjetas trapezoidais de concreto	R\$ 39,57	R\$ 71,41	R\$ 31,84	80%
Sarjetas trapezoidais de grama	R\$ 16,45	R\$ 27,20	R\$ 10,75	65%
Sarjetas trapezoidais sem revestimento	R\$ 8,12	R\$ 13,43	R\$ 5,31	65%
Sarjetas de canteiro central	R\$ 45,77	R\$ 70,33	R\$ 24,56	54%
Geral	R\$ 42,03	R\$ 63,43	R\$ 21,40	51%

Os resultados apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4 comprovam que as sarjetas propostas custam consideravelmente mais do que o preço de mercado de hoje em dia. Elas representam em geral uma área maior e um perímetro maior que as atuais. Além disso, as menores sarjetas, como as triangulares com talude mais íngreme que 1:1, foram excluídas na metodologia proposta, restando apenas canais com inclinação suave o bastante para permitir a recuperação do controle de direção em caso de saída de pista.

Tabela 4.4: Comparação de custos por metro linear entre sarjetas atuais e propostas usando a Alternativa 2 para as sarjetas trapezoidais

Tipo	ORIGINAL	REVISADO	Varição	
Sarjetas triangulares de concreto	R\$ 47,68	R\$ 73,88	R\$ 26,19	55%
Sarjetas triangulares de grama	R\$ 16,47	R\$ 20,74	R\$ 4,27	26%
Sarjetas trapezoidais de concreto	R\$ 39,57	R\$ 56,75	R\$ 17,18	43%
Sarjetas trapezoidais de grama	R\$ 16,45	R\$ 21,82	R\$ 5,38	33%
Sarjetas trapezoidais sem revestimento	R\$ 8,12	R\$ 10,77	R\$ 2,66	33%
Sarjetas de canteiro central	R\$ 45,77	R\$ 68,62	R\$ 22,85	50%
Geral	R\$ 42,03	R\$ 59,20	R\$ 17,17	41%

Além disso, a comparação entre o aumento de custo usando a Alternativa 1 – base menor de dimensão 1,20 m – em relação à Alternativa 2 – base menor o quádruplo da altura – justifica a utilização da Alternativa 2. No mais, entende-se que qualquer alternativa de dimensionamento para as sarjetas trapezoidais implica em aumento significativo no orçamento da obra.

4.5 COMPARAÇÃO COM NORMAS INTERNACIONAIS

De forma resumida, pelo estudo feito, as sarjetas propostas estão de acordo com as recomendações internacionais dos países que trazem a segurança viária como fator para o desenvolvimento de projetos (REINO UNIDO, 2016a e b; IRLANDA, 2004).

Um dos motivos para isso é que esse tipo de canal de drenagem é recomendado para rodovias rurais, ou seja, onde há espaço suficiente para implantar dispositivos destas dimensões. Em vias urbanas, pela restrição de espaço, opta-se pelo uso de meios-fios para impedir que a água invada calçadas e áreas adjacentes. Nesses ambientes, o meio-fio deve ser usado em conjunto com outros métodos de drenagem, como bueiros e drenos subterrâneos, para sorver a água.

As sarjetas menos e mais larga dentre as sarjetas propostas possuem respectivamente 120 e 300 cm de largura, e estão ambas incluídas nas sarjetas projetadas pela Alternativa 2. Excluindo-se as sarjetas de canteiro central, a sarjeta mais larga passa a ter 200 cm (Sarjeta Triangular 1), pela Alternativa 1, e 300 cm (Sarjeta Trapezoidal 2), pela Alternativa 2 de dimensionamento. Não foi encontrado nenhum item que indique uma largura mínima para a base menor de uma sarjeta trapezoidal igual a 120 cm. Essa referência corrobora a escolha da Alternativa 2 para dimensionamento de sarjetas trapezoidais.

Outra referência estado-unidense buscada foi o “NCHRP Report 350”. Esse relatório traz os procedimentos recomendados para avaliar a segurança de uma rodovia e é um dos itens usados como referência pela NBR 15.486. Traduzido do relatório (ROSS JR., 1993):

“Estudos prévios mostraram que é difícil, de um ponto de vista prático e econômico, projetar algumas características geométricas, como a declividade da boca-de-lobo e o talude da rodovia, atendendo os critérios de avaliação para rodovias de alta velocidade (100 km/h).”

Essa conclusão é esperada, pois os critérios de segurança envolvem taludes mais suaves que aqueles usados normalmente, e para atingi-los é necessário realizar uma movimentação de terra maior que o padrão. A indicação que se tem é que a engenharia precisa estudar métodos para reduzir os custos de alternativas que promovam a segurança viária.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Segurança Viária deve ser foco das políticas públicas de mobilidade. Vidas humanas devem ser sempre prioritárias em qualquer campo de ação que as ponha em risco. No caso da área de transportes, existe um senso-comum de que mobilidade e segurança são antagônicas, o que não é necessariamente verdade.

No entanto, é razoável deduzir que algumas medidas de segurança de fato significam uma redução de mobilidade, e vice-versa. Isso se dá principalmente no âmbito urbano, onde existe grande locomoção de pedestres e ciclistas, os seres mais frágeis do trânsito, e que devem ser protegidos. No entanto, para rodovias rurais, é possível criar um ambiente que absorva erros de direção cometidos por motoristas e permita reduzir drasticamente o número de mortes em trânsito sem uma redução de mobilidade. Modelos dessa natureza já são implementados em países como Suécia, Dinamarca e Austrália.

Um dos focos dessa abordagem de “rodovias que perdoam” é o sistema de drenagem superficial, em especial os canais que correm paralelamente à rodovia. O dimensionamento impróprio desses elementos, além de causar problemas de aquaplanagem devido ao acúmulo de água na superfície, pode aumentar o risco de capotamento de carros, ao se usar taludes muito íngremes nas suas laterais.

Existem muitas divergências entre os elementos normativos brasileiros que tratam do dimensionamento da drenagem superficial de rodovias. Usando três referências normalmente tidas como básicas – a Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da norma NBR 15.486: Segurança no Tráfego; e o DNIT, por meio do Manual de Drenagem e do Álbum de Projetos-tipo de Elementos de Drenagem – foram notadas discrepâncias astronômicas. Essas três referências possuem recomendações completamente distintas quanto ao talude e o tamanho do elemento de drenagem superficial a ser usado.

A NBR 15.486 e o Manual de Drenagem são embasados nas normas americanas. O Álbum de Projetos-Tipo sequer traz a principal referência utilizada para padronizar os elementos trazidos por ele. Para a pessoa recém-formada em engenharia ou pesquisadora do tema, isso dificulta o trabalho imensamente, impedindo que a fonte original seja checada.

Ao longo do projeto, pela comparação dos elementos padronizados com os projetos rodoviários feitos em parceria com o DNIT e com edições mais antigas das mesmas referências, nota-se que o problema de inconformidade entre as entidades que ditam as regras de engenharia de trânsito no Brasil vem desde o surgimento dos primeiros referenciais normativos.

Todas as sarjetas padronizadas estão dimensionadas inapropriadamente de acordo com a Norma NBR 15.486. Somente uma está de acordo com o Manual de Drenagem. Quanto às guias, também verificadas, 50% atendem ao critério de tamanho máximo estabelecido pela NBR 15.486. Nada disso seria um problema se esses elementos se localizassem fora da zona livre, permitindo ao motorista espaço para recuperar o controle da direção no caso de um infortúnio. No entanto, as sarjetas são adjacentes ao acostamento.

A solução apresentada por esse trabalho é uma reformulação do Álbum de Projetos-Tipo de Elementos de Drenagem seguindo as orientações do Manual de Drenagem e da NBR 15.486: Segurança no Tráfego. Esse redimensionamento implica em sarjetas muito maiores que as usuais, fora de padrão no mercado, tendo como referência de mercado a tabela SICRO.

Pela avaliação de custo, verifica-se que as sarjetas propostas nas Figuras 4.4 a 4.21 implicam um aumento considerável, de aproximadamente 40%, no orçamento para a execução dos canais de drenagem.

No entanto, as sarjetas propostas, por mais que pareçam superdimensionadas, estão de acordo com outras normas internacionais. Dentre essas, destacam-se as normas do Reino Unido e Estados Unidos, muito semelhantes à NBR 15.486 no critério de dimensionamento com enfoque na segurança para sarjetas, às vezes trazendo métodos ainda mais rigorosos que os brasileiros.

Ademais, recomenda-se estudos futuros para: a) desenvolvimento de materiais e métodos construtivos que permitam reduzir os custos de construção destes dispositivos de modo que seja economicamente vantajosa sua aplicação, quando comparada a dispositivos de proteção lateral contínuos; b) análise econômica ampliada considerando os custos de acidentes; e c) desenvolvimento de outras soluções para drenagem que sejam seguras para o usuário da rodovia, como elementos gradeados, ou similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007) **NBR 15.486/2007** – Segurança no Tráfego: dispositivos de contenção viária – diretrizes de projeto e ensaio de impacto.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016) **NBR 15.486/2016** – Segurança no Tráfego: dispositivos de contenção viária: diretrizes de projeto e ensaios de impacto. Rio de Janeiro, 37p.

BICYCLE DUTCH (2012) **Sustainable safety**. Disponível em: <<https://bicycledutch.wordpress.com/2012/01/02/sustainable-safety/>>. Acesso em 04 de novembro de 2018.

CARDOSO, G. (2006) **Modelos para previsão de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas**. Tese de Doutorado em Sistemas de Transportes. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 289 p.

CENTER FOR ACTIVE DESIGN (2014) **Vision Zero: learning from Sweden's successes**. Disponível em: <<https://centerforactivedesign.org/visionzero>>. Acesso em 04 de novembro de 2018.

COSTA, A. B. (2017) **Análise da Diferença na Tipologia dos Acidentes ocorridos nas Rodovias Federais Brasileiras inseridas em contexto Urbano e Rural**. Monografia de Graduação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 199p.

DE SOUZA, M. L. R. (2012) **Procedimento para avaliação de projetos de rodovias rurais visando a segurança viária**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM – 005/2012. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 206 p.

DINAMARCA (2000) **Every accident is one too many – Road safety starts with you**. The Danish Road Safety Commission. Danish Ministry of Transport, 56p.

DNER (1999) **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem – DNER. Rio de Janeiro, 195 p. (IPR Publicação 706).

DNIT (2006a) **Álbum de Projetos-Tipo de Elementos de Drenagem**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT. Diretoria de Planeja Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2ª edição, Rio de Janeiro, 103 p. (IPR Publicação 725).

DNIT (2006b) **Manual de Drenagem de Rodovias**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2ª edição, Rio de Janeiro, 333 p. (IPR Publicação 724).

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

DNIT. Diretoria de Infraestrutura Rodoviária. Coordenação-Geral de Operações Rodoviárias. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/programa-br-legal/2015.01.08-guia-pratico-br-legal-versao-1.0-janeiro.2015.pdf>. Acesso em 03 de novembro de 2018.

DNIT (2018) **Álbum de Projetos-Tipo de Elementos de Drenagem**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 5ª edição, Rio de Janeiro, 227 p. (IPR Publicação 736).

DNIT/DPRF (2011) **Anuário Estatístico das Rodovias Federais 2010**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT e Departamento de Polícia Rodoviária Federal – DPRF. Brasília, 683 p.

DUMBAUGH, E. e W. LI (2010) **Designing for the safety of pedestrians, cyclists, and motorists in urban environment**. Journal of the American Planning Association, 77:1, 69-88, DOI: 10.1080/01944363.2011.536101

ERNST, M. (2004) **Mean Streets 2004. How far have we come? Pedestrian safety, 1994 – 2003**. Surface Transportation Policy Project. 40p.

EB - EXÉRCITO BRASILEIRO (2018) **Diário eletrônico de fotos da BR-101**. Disponível em: http://www.1bec.eb.mil.br/obras/br101/becnst1_obras_br101_diario.htm. Acesso em 27 de maio de 2018.

FANNING, R. (2013a) **Guide to road design part 5: drainage – general and hydrology considerations**. Road Design Drainage Technical Sub-committee, Austroads, 207 p.

FANNING, R. (2013b) **Guide to road design part 5A: drainage – road surface, networks, basins and subsurface**. Road Design Drainage Technical Sub-committee, Austroads, 217 p.

INTERVIAL (2018) INTERVIAL GESTÃO INTEGRAL RODOVIÁRIA. **Atividades**. Disponível em: <https://intevial.pt/atividades/conservacao-corrente-rodoviaria/>. Acesso em 27 de maio de 2018.

IPEA (2015) **Estimativa dos custos dos acidentes de trânsito no Brasil com base na atualização simplificada das pesquisas anteriores do IPEA**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Relatório de Pesquisa. Brasília, 13 p.

IRLANDA (2004) **Guidelines for road drainage**. Department of the Environment, Heritage and Local Government, 62 p.

IVAN, J. N.; GARRICK, N. W.; HANSON, G. (2009) **Designing roads that guide drivers to choose safer speeds**. University of Connecticut. Connecticut Transportation Institute. Storrs, 115 p.

MAZZETTO, L. F. (2015) **Avaliação das condições de segurança em rodovias federais da região metropolitana de Curitiba**. Dissertação de Especialização em

Engenharia de Segurança do Trabalho. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 71 p.

McGEE, H. W., NABORS, D., BAUGHMAN, T. (2009) **Maintenance of drainage features for safety, a guide for local street and highway maintenance personnel.** Report FHWA-SA-09-024. Office of Safety, Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, 33 p.

MET@LICA (2012) Blog de construção civil. **Sistemas de drenagem em pavimentos.** Disponível em: http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=756. Acesso em 27 de maio de 2018.

MINESSOTA (2012) **Road design manual. Chapter 4: cross sections.** 59 p.

MISSATO, M. M. (2011) **Análise das recomendações para uso de dispositivos de proteção lateral e a segurança viária em rodovias.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 214 p.

MUIR, C.; JOHNSTON, I. R.; HOWARD, E. (2018) **Evolution of a holistic systems approach to planning and managing road safety: the Victorian case study, 1970 – 2015.** Inj. Prev. 2018;24:i19–i24.

NADERI, J. R.; KWEON, B. S.; MAGHELAL, P. (2008) **The street tree effect and driver safety.** Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, 6p.

QUEENSLAND (2015). **Road Drainage. Chapter 11: Road surface and subsurface drainage design.** Department of Transport and Main Roads, 39 p.

REINO UNIDO (2016a). **Combined channel and pipe system for surface water drainage. Design Manual for Roads and Bridges.** Highways England, Transport Scotland, Welsh Government, Department for Infrastructure, 41 p.

REINO UNIDO (2016b). **Design of highway drainage systems. Design Manual for Roads and Bridges.** Highways England, Transport Scotland, Welsh Government, Department for Infrastructure, 54 p.

ROCHA, E. G. A.; JABÔR, M. A.; MATTOS, N. J. R. (2015). **Drenagem superficial: aspectos hidráulicos versus aspectos de segurança.** 18 p.

ROQUE, C.; F. MOURA, J. L. CARDOSO (2015) Detecting unforgiving roadside contributors through the severity analysis of ran-off-road crashes. **Accident Analysis & Prevention**, Volume 80, July 2015, Pages 262-273.

ROSS JR., H. E., D. L. SICKING, R. A. ZIMMER and J. D. MICHIE (1993) **Recommended procedures for the safety performance evaluation of highway features.** NHCRP Report 350, USA Transportation Research Board, National Research Country, Washington, 74 p.

RTA (2004) **Accident Reduction Guide – Part I.** Roads and Traffic Authority NSW. Road Safety Strategy Branch. 110 p.

SILVA, P. A. (2017) **Proposição de medidas mitigatórias para redução do risco de choques entre veículos e obstáculos fixos: um estudo de caso na BR-153/TO.** Monografia de Especialização em Operações Rodoviárias, Departamento de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 71 p.

SUÉCIA (2016) **Renewed Commitment to Vision Zero.** Government Offices Sweden. Ministry of Enterprise and Innovation. Item nº: 2016.34. 24 p.

TINGVALL, C.; HAWORTH, N. (1999) **Vision Zero – An ethical approach to safety and mobility.** 6th ITE International Conference Road Safety & Traffic Enforcement: Beyond 2000, Melbourne, 14 p.

VOGELSANGER EMPREENDIMENTOS (2018) **Serviços complementares.** Disponível em: <http://vogelsangerempreendimentos.com.br/site/servicos/servicos-complementares/>. Acesso em 27 de maio de 2018.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (2015). **Global Status Report on Road Safety.** Itália, 340 p.

APÊNDICE A: MEMORIAL DE CÁLCULO

Tabela A.1: Dimensões das sarjetas padronizadas pelo Álbum de Projetos-tipo do DNIT (2018)

Tipo	Triangular ou Trapezoidal	Altura (cm)	Lado1 (cm)	Lado2 (cm)	Área (cm²)
STC01	Triangular	25	100	25	1.563
STC02	Triangular	30	70	30	1.500
STC03	Triangular	30	50	30	1.200
STC04	Triangular	20	50	20	700
STC05	Triangular	25	100	8	1.350
STC06	Triangular	30	70	8	1.170
STC07	Triangular	30	50	8	870
STC08	Triangular	20	50	5	550
STG01	Triangular	25	100	25	1.563
STG02	Triangular	30	70	30	1.500
STG03	Triangular	30	50	30	1.200
STG04	Triangular	20	50	20	700
SZC01	Trapezoidal	30	30	90	1.800
SZC02	Trapezoidal	20	20	60	800
SZG01	Trapezoidal	30	30	90	1.800
SZG02	Trapezoidal	20	20	60	800
SCC01	Triangular	25	50	50	1.250
SCC02	Triangular	35	70	70	2.450
SCC03	Trapezoidal	25	50	100	1.875
SCC04	Trapezoidal	35	70	140	3.675

Lado 1: comprimento a montante, base menor.

Lado 2: comprimento a jusante, base maior.

- Sarjetas triangulares:

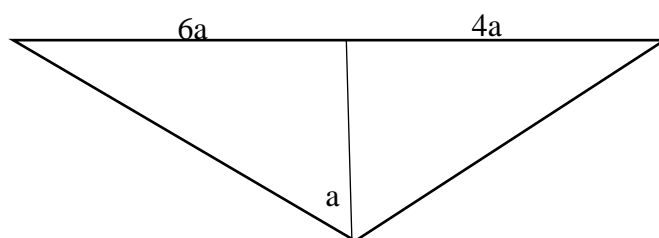


Figura A.1: Desenho-base para as sarjetas triangulares revisadas

$$\frac{a \times (6a + 4a)}{2} = A$$

$$\frac{10a^2}{2} = A$$

$$a = \sqrt{A/5}$$

Tabela A.2: Cálculo das alturas das sarjetas triangulares revisadas

Tipo	Área (cm ²)	“a” calculado (cm)	“a” utilizado (cm)
STC01	1562,5	17,67766953	20
STC02	1500	17,32050808	20
STC03	1200	15,49193338	20
STC04	700	11,83215957	15
STC05	1350	16,43167673	20
STC06	1170	15,29705854	20
STC07	870	13,19090596	15
STC08	550	10,48808848	15
STG01	1562,5	17,67766953	20
STG02	1500	17,32050808	20
STG03	1200	15,49193338	20
STG04	700	11,83215957	15
SCC01	1250	15,8113883	20
SCC02	2450	22,13594362	25

- Sarjetas trapezoidais

- Versão 1:

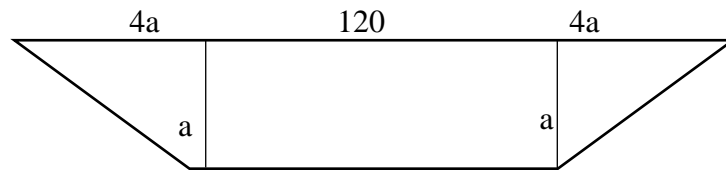


Figura A.2: Desenho-base para sarjeta trapezoidal, Versão 1

$$\frac{a \times [120 + (120 + 4a + 4a)]}{2} = A$$

$$\frac{120a + 8a^2}{2} = 4a^2 + 120 = A$$

- SZ-01:

$$4a^2 + 120 = 1800$$

$$a = \frac{-15 \pm \sqrt{120^2 - 4 \times 4 \times (-1800)}}{2 \times 4} = 10,98 \text{ cm} \Rightarrow a = 15 \text{ cm}$$

- SZ-02:

$$4a^2 + 120 = 800$$

$$a = \frac{-15 \pm \sqrt{120^2 - 4 \times 4 \times (-800)}}{2 \times 4} = 5,62 \text{ cm} \Rightarrow a = 10 \text{ cm}$$

- SZ-03 (Canteiro Central):

$$4a^2 + 120 = 1875$$

$$a = \frac{-15 \pm \sqrt{120^2 - 4 \times 4 \times (-1875)}}{2 \times 4} = 11,34 \text{ cm} \Rightarrow a = 15 \text{ cm}$$

- SZ-04 (Canteiro Central):

$$4a^2 + 120 = 3675$$

$$a = \frac{-15 \pm \sqrt{120^2 - 4 \times 4 \times (-3675)}}{2 \times 4} = 18,82 \text{ cm} \Rightarrow a = 20 \text{ cm}$$

○ Versão 2:

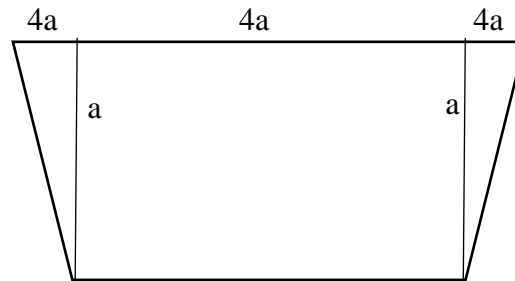


Figura A.3: Desenho base para cálculo da altura da sarjeta trapezoidal, Versão 2

$$\frac{a \times (4a + 12a)}{2} = A$$

$$\frac{16a^2}{2} = 8a^2 = A$$

$$a = \sqrt{A/8}$$

▪ SZ-01:

$$a = \sqrt{1800/8} = 15 \text{ cm}$$

▪ SZ-02:

$$a = \sqrt{800/8} = 10 \text{ cm}$$

▪ SZ-03 (Canteiro Central):

$$a = \sqrt{1875/8} = 15,31 \text{ cm} \Rightarrow 20 \text{ cm}$$

▪ SZ-04 (Canteiro Central):

$$a = \sqrt{3675/8} = 21,43 \text{ cm} \Rightarrow 25 \text{ cm}$$

APÊNDICE B: CUSTO UNITÁRIO DA SARJETA

São apresentados nesse Apêndice as tabelas utilizadas como base para o cálculo dos custos. A Tabela B.1 traz o resultado de custo unitário para cada tipo de sarjeta proposta, pelos métodos executivos estabelecidos no SICRO.

A Tabela B.2 traz, de forma simplificada, os insumos por tipo de sarjeta, a Tabela B.3 o cálculo para escolha do insumo-referência e a Tabela B.4, o consumo unitário por insumo para as sarjetas propostas.

Tabela B.1: Custo por metro linear das sarjetas propostas com base nas recomendações de segurança brasileiras

Item	Unidade	Custo unitário
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 01 - areia e brita comerciais	m	67,79
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 01 - areia extraída e brita produzida	m	53,49
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 02 - areia e brita comerciais	m	84,74
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 02 - areia extraída e brita produzida	m	66,86
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 03-1R - areia e brita comerciais	m	74,12
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 03-1R - areia extraída e brita produzida	m	58,12
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 04-1R - areia e brita comerciais	m	82,53
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 04-1R - areia extraída e brita produzida	m	64,71
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 03-2R - areia e brita comerciais	m	66,23
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 03-2R - areia extraída e brita produzida	m	51,93
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 04-2R - areia e brita comerciais	m	82,77
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 04-2R - areia extraída e brita produzida	m	64,91
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 01 moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	70,06
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 01 moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	55,55
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 02 moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	86,87
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 02 moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	68,74
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 03-1R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	77,29
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 03-1R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	61,05
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 04-1R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	85,70
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 04-1R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	67,63
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 03-2R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	69,37

Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 03-2R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	54,87
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 04-2R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	85,95
Sarjeta de canteiro central de concreto - SCC 04-2R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	67,82
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01-1R - areia e brita comerciais	m	73,56
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01-1R - areia extraída e brita produzida	m	62,16
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 02-1R - areia e brita comerciais m	m	82,96
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 02-1R - areia extraída e brita produzida	m	70,11
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01-2R - areia e brita comerciais	m	55,03
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01-2R - areia extraída e brita produzida	m	46,50
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 02-2R - areia e brita comerciais m	m	68,96
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 02-2R - areia extraída e brita produzida	m	58,27
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01-1R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	72,26
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01-1R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	60,69
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 02-1R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais m	m	81,28
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 02-1R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	68,23
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01-2R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	54,50
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01-2R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	45,84
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 02-2R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais m	m	67,89
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 02-2R moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	57,04
Sarjeta trapezoidal de grama - SZG 01-1R	m	20,24
Sarjeta trapezoidal de grama - SZG 02-1R	m	34,15
Sarjeta trapezoidal de grama - SZG 01-2R	m	15,18
Sarjeta trapezoidal de grama - SZG 02-2R	m	28,46
Sarjeta trapezoidal sem revestimento - SZT 01-1R	m	9,99
Sarjeta trapezoidal sem revestimento - SZT 02-1R	m	16,86
Sarjeta trapezoidal sem revestimento - SZT 01-2R	m	7,49
Sarjeta trapezoidal sem revestimento - SZT 02-2R	m	14,05
Sarjeta triangular de concreto - STC 01 - areia e brita comerciais	m	66,88
Sarjeta triangular de concreto - STC 01 - areia extraída e brita produzida	m	55,99
Sarjeta triangular de concreto - STC 02 - areia e brita comerciais	m	89,17
Sarjeta triangular de concreto - STC 02 - areia extraída e brita produzida	m	74,65
Sarjeta triangular de concreto - STC 01 moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	71,04
Sarjeta triangular de concreto - STC 01 moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	59,98
Sarjeta triangular de concreto - STC 02 moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia e brita comerciais	m	94,01
Sarjeta triangular de concreto - STC 02 moldada no local com extrusora e concreto usinado - areia extraída e brita produzida	m	79,28
Sarjeta triangular de grama - STG 01	m	14,93
Sarjeta triangular de grama - STG 02	m	26,55

Tabela B.2: Valores unitários dos insumos por tipo de sarjeta

Item	Área (cm ²)	Perímetro (cm)	Apiloamento manual (m ³)	Confecção de concreto (m ³)	Enchimento de concreto (kg)	Escavação (m ³)	Tábua de madeira	GRAMA	PRÉ-MOLDADA	MOLDADA <i>in loco</i>		
								Enlevamento (m ³)	Guia de madeira (m ³)	Enchimento de concreto (kg)	Escavação (m ³)	Confecção (t)
SCC01	1250	111,80		0,08900	0,16000				0,66000	0,16000		0,21360
SCC02	2450	156,52		0,12500	0,24000				0,92000	0,24000		0,30000
SCC03	1875	120,71		0,12100	0,18000				0,71000	0,18000		0,29040
SCC04	3675	168,99		0,16900	0,33000				0,98000	0,33000		0,40560
SZC01	1800	114,85	0,20000	0,07600	0,18000	0,25863			0,68000	0,12371	0,25863	0,18240
SZC02	800	76,57	0,12248	0,07700	0,13000	0,13473			0,48000	0,08575	0,13473	0,18480
SZG01	1800	114,85	0,16364			0,18000		1,30000			0,18000	
SZG02	800	76,57	0,07273			0,08000		0,80000			0,08000	
STC01	1563	138,43	0,24854	0,11100	0,25000	0,25000			0,77000	0,25000	0,27340	0,18240
STC02	1500	118,58	0,20000	0,08900	0,16000	0,21000			0,65000	0,16000	0,25127	0,21360
STC03	1200	100,74	0,18817	0,07500	0,14000	0,20000			0,56000	0,14000	0,20699	0,18000
STC04	700	82,14	0,12919	0,06600	0,11000	0,11000			0,47000	0,11000	0,14211	0,15840
STC05	1350	129,33	0,22244	0,12600	0,24000	0,24468	0,27000		0,71000	0,24000	0,24468	0,30240
STC06	1170	107,21	0,19059	0,08600	0,15000	0,20964	0,31000		0,57000	0,15000	0,20964	0,20640
STC07	870	89,36	0,15083	0,07100	0,13000	0,16592	0,31000		0,50000	0,13000	0,16592	0,17040
STC08	550	74,47	0,11039	0,06300	0,11000	0,12142	0,21000		0,44000	0,11000	0,12143	0,15120
STG01	1563	138,43	0,14205			0,15625		1,38000				
STG02	1500	118,58	0,13636			0,15000		1,18000		SZG01		
STG03	1200	100,74	0,10909			0,12000		1,00000		SZG02		
STG04	700	82,14	0,06364			0,07000		0,84000		STG01		

Tabela B.3: Escolha dos insumos de referência

Tipo de Elemento	Estatística	Perímetro/ Enchimento	Perímetro/ Confecção	Área/ Confecção	Área/ Enchimento
Sarjeta de Canteiro Central Triangular	MÉDIA	675,4789	1.254,208	16.822,47	9.010,417
	DESV.PADRÃO	23,29237	2,009949	2.777,528	1.197,917
	ERRO1	3,45%	0,16%	-16,51%	-13,29%
	ERRO2	-3,45%	-0,16%	16,51%	13,29%
	DESV PERC	3,45%	0,16%	16,51%	13,29%
Sarjeta de Canteiro Central Trapezoidal	MÉDIA	591,3604	998,7895	1.8620,71	1.0776,52
	DESV.PADRÃO	79,25449	1,180602	3.124,847	359,8485
	ERRO1	13,40%	-0,12%	-16,78%	-3,34%
	ERRO2	-13,40%	0,12%	16,78%	3,34%
	DESV PERC	13,40%	0,12%	16,78%	3,34%
Sarjeta Trapezoidal de concreto	MÉDIA	613,53	1252,809	1.7036,91	8.076,923
	DESV.PADRÃO	24,5412	258,4123	6647,3	1923,077
	ERRO1	4,00%	20,63%	39,02%	23,81%
	ERRO2	-4,00%	-20,63%	-39,02%	-23,81%
	DESV PERC	4,00%	20,63%	39,02%	23,81%
Sarjeta Triangular de concreto	MÉDIA	672,3782	1235,093	1.2854,9	6.959,672
	DESV.PADRÃO	76,17247	92,48708	2.620,906	1.400,436
	DESV PERC	11,33%	7,49%	20,39%	20,12%
	ERRO1	-17,65%	0,98%	9,50%	-10,20%
	ERRO2	10,23%	7,88%	31,11%	34,70%
	ERRO3	7,01%	8,75%	24,47%	23,16%
	ERRO4	11,05%	0,76%	-17,49%	-8,56%
	ERRO5	-19,86%	-16,90%	-16,65%	-19,18%
	ERRO6	6,30%	0,93%	5,83%	12,07%
	ERRO7	2,23%	1,90%	-4,68%	-3,84%
ERRO8	0,68%	-4,30%	-32,09%	-28,16%	

Para sarjeta de grama, encontrou-se proporção com 0% de erro entre área da sarjeta (A) e área de escavação (E), sendo: $A = 10^4 \times E$.

Tabela B.4: Cálculo dos consumos unitários de insumo por tipo de sarjeta proposta

Item	Altura (cm)	Tipo	Lado a	Lado b	Área (cm ²)	Perímetro (cm)	Apiloamento Manual (m ³)	Confeção De Concreto (m ³)	Enchimento de concreto (kg)	Escavação (m ³)	Tábua de madeira	GRAMA	PRÉ-MOLDADA	MOLDADA in loco		
												Enleivamento (m ³)	Guia de madeira (m ³)	Enchimento de concreto (kg)	Escavação (m ³)	Confeção (t)
STC01r	15	Triangular	90	60	1125	153	0,25983	0,12395	0,23274	0,27273			0,84256	0,23274	0,29146	0,28232
STC02r	20	Triangular	120	80	2000	204	0,34644	0,16526	0,31032	0,36365			1,12342	0,31032	0,38861	0,37643
SZC01-1r	10	Trapezoidal	120	200	1600	161	0,27337	0,12970	0,26279	0,33346			0,98335	0,17756	0,33346	0,31128
SZC02-1r	15	Trapezoidal	120	240	2700	182	0,30833	0,14628	0,29639	0,37610			1,10909	0,20027	0,37610	0,35108
SCC01r	20	Triangular	120	80	2000	204		0,16275	0,30420				1,20158	0,30420		0,39059
SCC02r	25	Triangular	150	100	3125	255		0,20343	0,38025				1,50198	0,38025		0,48824
SCC03-1r	15	Trapezoidal	120	240	2700	182		0,18207	0,32019				1,06101	0,32019		0,43696
SCC04-1r	20	Trapezoidal	120	280	4000	202		0,20271	0,35649				1,18130	0,35649		0,48650
SZC01-2r	10	Trapezoidal	40	200	1200	121	0,20452	0,09703	0,19660	0,24947			0,73568	0,13284	0,24947	0,23288
SZC02-2r	15	Trapezoidal	60	240	2250	151	0,25643	0,12166	0,24651	0,31280			0,92243	0,16656	0,31280	0,29200
SCC03-2r	20	Trapezoidal	80	280	3600	182		0,18220	0,32042				1,06179	0,32042		0,43728
SCC04-2r	25	Trapezoidal	100	320	5250	213		0,21306	0,37470				1,24164	0,37470		0,51135
STG01r	15	Triangular	90	60	1125	153	0,10227			0,11250		0,99748				
STG02r	20	Triangular	120	80	2000	204	0,18182			0,20000		1,77330				
SZG01-1r	10	Trapezoidal	120	200	1600	161	0,14546			0,16000		1,29231				
SZG02-1r	15	Trapezoidal	120	240	2700	182	0,24546			0,27000		2,18077				
SZG01-2R	10	Trapezoidal	40	200	1200	121	0,10909			0,12000		0,96923				
SZG02-2R	15	Trapezoidal	60	240	2250	151	0,20455			0,22500		1,81731				