



DEPARTAMENTO DE ESTRADAS
DE RODAGEM DO PARANÁ



MANUAL DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS RODOVIÁRIOS

DRENAGEM TOMO II

2023



CONSÓRCIO APPE-VIAPONTE
Contrato: Nº 100/2021

MANUAL DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS RODOVIÁRIOS

DRENAGEM TOMO II

2023

CARLOS ROBERTO MASSA JÚNIOR
GOVERNADOR DO ESTADO DO PARANÁ

FERNANDO FURIATTI SABÓIA
SECRETÁRIO DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

ALEXANDRE CASTRO FERNANDES
DIRETOR GERAL DO DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER/PR

JANICE KAZMIERCZAK SOARES
DIRETORA TÉCNICA DO DER/PR

RUI CEZAR DE QUADROS ASSAD
DIRETOR DE OPERAÇÕES DO DER/PR

MARCO AURÉLIO CORDEIRO
DIRETOR ADMINISTRATIVO-FINANCEIRO DO DER/PR

Coordenação dos trabalhos

Diretoria Geral – DG
Diretoria Técnica – DT
Coordenadoria de Pesquisa e Desenvolvimento – CPD

Coordenadora Geral dos Trabalhos

Janice Kazmierczak Soares

Coordenadora Técnica dos Trabalhos

Larissa Vieira

Colaboradores Técnicos

Corpo Técnico do DER/PR

REVISÃO

Consórcio APPE-VIAPONTE



EQUIPE TÉCNICA

Engº Luiz Henrique Dias Figueiredo
Coordenador Geral

Engº Carlos Eugênio Gonçalves Butze
Coordenador Local

Engº Geovane Gomes
Equipe de Apoio

Lucas Gabriel Franco Laidens
Equipe de Apoio

Arqº Daniela Bussolo Cunha
Equipe de Apoio

Nicolle de Souza
Equipe de Apoio

Renan de Bonfim Pelepenko
Equipe de Apoio

COLABORAÇÃO TÉCNICA

Engº Alceu de Oliveira Maciel

Engº Glicério Trichês

Econª Joseane Maria Koerich

Engº Klaus Eduardo Mouta Wojcikiewicz

Bioº Newton Marcellino

Engº Paulo Eduardo Rocha de Carvalho

Engº Saulo de Castro S.Thiago

Engº Vitor Manuel Ribeiro Fonseca



SECRETARIA DA INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER/PR
DIRETORIA TÉCNICA
COORDENADORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Avenida Iguaçu, 420 – Rebouças
CEP 80230-020 – Curitiba – PR
Tel/Fax.: (41) 3304-8000
e-mail: dt.cpd@der.pr.gov.br

TÍTULO: MANUAL DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS RODOVIÁRIOS
DRENAGEM – TOMO II

Edição: 2023

Revisão: DER/PR / Consórcio APPE-VIAPONTE
Contrato: DER/PR / Consórcio APPE-VIAPONTE Nº 100/2021 DER/DT

Aprovado pelo Conselho Diretor em: 08/08/2023
Deliberação Nº 265/2023

APRESENTAÇÃO

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado Paraná, no âmbito da atualização e ampliação da documentação padronizada do Órgão, vem apresentar a 3ª edição do “Manual de Execução de Serviços Rodoviários” que, desde sua primeira edição, de 1991, teve como principal finalidade servir como referência aos engenheiros encarregados das obras de construção rodoviária, visando estabelecer critérios uniformes para a execução destas obras, adotando como referência, métodos advindos de sua experiência e de outros centros de tecnologia.

Com o objetivo de manter o “Manual de Execução de Serviços Rodoviários” o mais atualizado possível foi realizado uma atualização em 1996 e, no âmbito do Contrato para revisão e atualização da documentação técnica do DER/PR, o Manual foi também revisto e atualizado com a presente 3ª edição, aprovada em 2023.

Para tornar a consulta mais fácil, a presente edição do Manual é apresentada em Tomos da forma seguinte:

- TOMO I – Terraplenagem;
- TOMO II – Drenagem;
- TOMO III – Pavimentação;
- TOMO IV – Obras Complementares;
- TOMO V – Obras de Arte Especiais;
- TOMO VI – Sinalização e Segurança Viária.

Tal como nas outras edições, o presente Manual objetiva expor, sob forma didática, os diversos conceitos ligados à técnica dos serviços rodoviários, fornecendo detalhes a respeito de aspectos particulares julgados mais importantes à boa concepção, fiscalização e execução de obras rodoviárias. Complementa em inúmeros pontos as “Especificações de Serviços Rodoviários” do DER/PR, sendo desejável que seu uso esteja associado, ainda, a outros documentos técnicos elaborados pelo DER/PR, a saber:

- a) Normas Gerais de Licitação;
- b) Álbum de Projetos-Tipo;
- c) Especificações de Materiais para Serviços Rodoviários;
- d) Especificações de Ensaios Tecnológicos para Serviços Rodoviários;
- e) Manual de Gerenciamento de Obras;
- f) Manual de Instruções Ambientais;
- g) Tabela de Preços Rodoviários.

Assim, o Manual de Execução de Serviços Rodoviários descreve um grande conjunto de regras, informações técnicas e orientações que se mostram de grande utilidade, não só para o acompanhamento dos vários trabalhos de natureza rodoviária lançados pelo DER/PR, mas também para o meio rodoviário brasileiro, tais como outros órgãos e associações, na implementação de seus programas.

A evolução tecnológica dos últimos 25 anos, trouxe inovações não só nos materiais e equipamentos, mas nos métodos de execução e, nesse sentido, tornou-se necessária a revisão do Manual, para que possa continuar a atender seus objetivos com essas inovações.

Nessas condições, a presente terceira edição promoveu ajustamentos nos textos, nas figuras e nos quadros, bem como uma reordenação de diversos trechos que compõem este documento, resultando num aprimoramento geral em relação a alguns aspectos sem, contudo, introduzir modificações conceituais significativas no conteúdo técnico.

Embora o presente seja um documento puramente técnico sobre a execução de obras rodoviárias, no TOMO I desta terceira edição foram inseridas algumas Notas Introdutórias que têm como objetivo dar uma ideia sobre a evolução das Infraestruturas Rodoviárias, sobre a Malha Rodoviária do Estado do Paraná, sobre a nomenclatura dada aos elementos rodoviários e Informações e Recomendações Gerais sobre o tema.

Ciente da importância da presente obra e do interesse geral em mantê-la sempre em sintonia com o desenvolvimento das tecnologias de pavimentação, o DER/PR acolhe



quaisquer comentários, observações e críticas pertinentes de leitores e especialistas, que possam subsidiar uma futura reedição, tão breve quanto ela se revelar necessária.

Portanto, o Manual de Execução de Serviços Rodoviários - 2023 é apresentado à comunidade rodoviária, esperando que os técnicos e profissionais que venham a utilizá-lo possam usufruir dos benefícios decorrentes, visando atingir a necessária uniformização e normatização de métodos e procedimentos.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	vii
SUMÁRIO.....	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE QUADROS	xiv
LISTA DE TABELAS.....	xv
TOMO II - DRENAGEM	1
ESPECIFICAÇÕES DE SERVIÇO DE DRENAGEM	2
1 DRENAGEM PARA TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES.....	5
1.1 Obras de arte correntes	5
1.1.1 Bueiros	5
1.2 Pontes.....	39
1.2.1 Principais elementos componentes das pontes	40
1.2.2 Tipos Básico de Pontes.....	42
2 DRENAGEM DE PROTEÇÃO DA RODOVIA	44
2.1 Drenagem superficial	44
2.1.1 Valetas de proteção de corte	47
2.1.2 Valetas de Proteção de Aterro	49
2.1.3 Sarjetas de pé de talude de corte	50
2.1.4 Sarjetas de aterro	51
2.1.5 Escalonamento de taludes e sarjetas de banquetas	53
2.1.6 Valeta do canteiro central	54
2.1.7 Descidas de água	55
2.1.8 Saídas de água.....	56
2.1.9 Caixas coletoras	58
2.1.12 Bacias de amortecimento.....	63
2.1.13 Corta-Rio.....	64
2.2 Drenagem do Pavimento	65
2.2.1 Objetivo e características	65
2.2.2 Camada drenante.....	66
2.2.3 Drenos rasos longitudinais	68



2.2.4	Drenos transversais.....	69
2.3	Drenagem subterrânea ou profunda	70
2.3.1	Drenos profundos	72
2.3.2	Drenos em espinha de peixe	78
2.3.3	Colchão drenante	79
2.3.4	Drenos sub-horizontais.....	80
2.3.5	Valetões laterais	84
2.3.6	Drenos verticais.....	85
3	DRENAGEM DE ALÍVIO DE MUROS DE ARRIMO	89
4	DRENAGEM EM TRAVESSIAS URBANAS	92
4.1	Sarjetas.....	93
4.2	Bocas-de-lobo.....	94
4.3	Caixas de ligação.....	97
4.4	Poços de queda e de visita	97
4.5	Rede coletora.....	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bueiro em Planta	6
Figura 2 – Bueiro esconso	8
Figura 3 – Tubos circulares de concreto armado.....	9
Figura 4 – Fatores de assentamento dos tubos.....	10
Figura 5 – Boca de um bueiro tubular de concreto	14
Figura 6 – Bueiro normal – planta.....	15
Figura 7 – Bueiro esconso – planta	15
Figura 9 – Dentes de concreto ciclópico	17
Figura 9 – Bueiro de greide com janela aberta no corte	18
Figura 10 – Planta esquemática de um segmento de rodovia	19
Figura 11 – Nível da calçada da boca do bueiro.....	23
Figura 12 – Extremidade do bueiro em tubo metálico	24
Figura 13 – Bueiro celular – vista frontal.....	26
Figura 14 – Bueiro celular – Vista em planta	27
Figura 15 – Seção transversal de bueiro capeado	31
Figura 16 – Detalhes esquemáticos de um bueiro capeado.....	33
Figura 17 – Elementos construtivos de um tubo flexível.....	37
Figura 18 – Dispositivos de drenagem da rodovia.....	46
Figura 19 – Valeta de proteção de corte.....	48
Figura 20 – Valeta de Proteção de Aterro.....	50
Figura 21 – Sarjeta de pé de talude de corte.....	51
Figura 22 – Sarjeta de aterro	53
Figura 23 – Escalonamento de talude e sarjeta de pé-de-corte (banqueta)	54
Figura 24 – Valeta do canteiro central	55
Figura 25 – Descida de água em degraus	56
Figura 26 – Saída de água	57
Figura 27 – Caixa Coletora	58
Figura 28 – Esquema completo de um bueiro de greide em aterro	61
Figura 29 – Esquema completo de um bueiro de greide em corte	61
Figura 30 – Esquema de um dissipador de energia	62

Figura 31 – Bacias de amortecimento	63
Figura 32 – Corta-Rio	64
Figura 33 – Camada drenante	66
Figura 34 – Camada drenante conectada a dreno profundo	66
Figura 35 – Seções de drenos profundos	76
Figura 36 – Drenos em espinha de peixe	79
Figura 37 – Elementos de um dreno sub-horizontal	81
Figura 38 – Elementos de um dreno sub-horizontal	82
Figura 39 – Drenagem em muros de arrimo	91
Figura 40 – Bocas-de-lobo.....	96
Figura 41 – Croquis de elementos de drenagem urbana.....	99



LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Compressão diametral de tubos simples	11
Quadro 2 – Compressão diametral de tubos de concreto armado, reforçados com fibras ou armados com reforço de fibras simples	12
Quadro 3 – Limites de graduação para envelopes (diâmetro das partículas em mm).....	78
Quadro 4 – Granulometria a ser seguida por drenos e colchões drenantes	87



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escondidade das alas da boca	13
Tabela 2 – Relação entre os Diâmetros dos Bueiros e as Declividades máximas	16
Tabela 3 – Declividades máximas dos bueiros celulares.....	28
Tabela 4 – Declividade longitudinal dos bueiros capeados	34



MANUAL DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS RODOVIÁRIOS

TOMO II - DRENAGEM

3ª Edição

Curitiba
2023

ESPECIFICAÇÕES DE SERVIÇO DE DRENAGEM

Neste TOMO II do Manual são abordados assuntos de carácter complementar vinculados às seguintes especificações de serviço de Drenagem:

- DER/PR ES-DR 01/23 - SARJETAS E VALETAS
- DER/PR ES-DR 02/23 - TRANSPOSIÇÃO DE SEGMENTOS DE SARJETAS
- DER/PR ES-DR 03/23 - ENTRADAS E DESCIDAS D'ÁGUA
- DER/PR ES-DR 04/23 - DISSIPADORES DE ENERGIA
- DER/PR ES-DR 05/23 - BOCAS E CAIXAS PARA BUEIROS TUBULARES
- DER/PR ES-DR 06/23 - DRENOS LONGITUDINAIS PROFUNDOS
- DER/PR ES-DR 07/23 - DRENOS SUB-SUPERFICIAIS
- DER/PR ES-DR 08/23 - DRENOS SUB-HORIZONTAIS
- DER/PR ES-DR 09/23 - BUEIROS TUBULARES DE CONCRETO
- DER/PR ES-DR 10/23 - BUEIROS CELULARES DE CONCRETO
- DER/PR ES-DR 11/23 - DEMOLIÇÃO DE DISPOSITIVOS DE CONCRETO
- DER/PR ES-DR 12/23 - DISPOSITIVOS DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA
- DER/PR ES-DR 13/23 - RESTAURAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE DRENAGEM DANIFICADOS
- DER/PR ES-DR 14/23 - LIMPEZA E DESOBSTRUÇÃO DE DISPOSITIVOS DE DRENAGEM

Os dispositivos tomados como referência encontram-se detalhados no Álbum de Projetos-Tipo do DER/PR.

DRENAGEM

Na vida em geral a nossa relação com a água é ambígua; se por um lado a valorizamos e reconhecemos nossa dependência dela para o funcionamento de todo o nosso sistema de vida, por outro lado vivenciamos, com alguma frequência, diversos tipos de problemas que ela nos causa, como chuvas torrenciais, maremotos, tsunamis, e também pela falta dela em determinados períodos do ano com secas prolongadas, prejudicando não só o dia a dia das populações como também a produção dos nossos alimentos, entre outros conhecidos em todos os cantos do mundo.

No entanto, como não podemos viver sem ela, temos que suportar todos esses males que ela por vezes nos causa, tentando minimizá-los com o manejo mais adequado do ciclo hidrológico em função das previsões meteorológicas que a evolução da ciência nos ajudou a desenvolver e criando dispositivos para regularizar alguns desses problemas (barragens, pontes, diques etc.).

A construção de uma rodovia no meio rural gera diversos impactos no ciclo hidrológico, relacionadas com o escoamento, quer das águas pluviais, quer dos cursos permanentes que, em função do relevo, são criados pela própria natureza. Chama-se “Sistema de Drenagem” ao conjunto de dispositivos criados para minimizar os distúrbios no escoamento das águas das regiões atravessadas por uma rodovia e aqueles criados para que a água não crie problemas no funcionamento da rodovia. Os estudos hidrológicos têm por objetivo avaliar a vazão das bacias de contribuição para os diversos dispositivos de drenagem da rodovia, tais como: pontes, pontilhões, bueiros, valetas, sarjetas, descidas de água e caixas coletoras usados na implantação básica etc.

A água de infiltração e a água de escoamento terminam alcançando os rios, lagos e os oceanos, donde se evapora novamente, recomeçando o ciclo hidrológico. O encaminhamento da água de escoamento constitui o objetivo da drenagem superficial e o da água de infiltração o objetivo da drenagem profunda, subdrenagem ou drenagem subterrânea.

Assim, o sistema de drenagem tem por objetivo a captação, a condução e o deságue, de forma rápida e eficiente, das águas que atingem a pista da rodovia e/ou as áreas adjacentes, comprometendo o conforto e a segurança dos usuários e a durabilidade da rodovia, através do escoamento superficial ou por infiltração.

De fato, a ação das águas superficiais ou subterrâneas pode acarretar os seguintes efeitos nocivos à rodovia:

- a) redução da resistência ao cisalhamento pela saturação dos solos;
- b) variação de volume de alguns solos pelo umedecimento;
- c) instabilidade nos taludes de cortes e aterros provocando deslizamentos de solos ou rochas sobre a superfície do pavimento das rodovias;
- d) destruição do atrito intergranular nos materiais granulares pelo bombeamento de lama do subleito;
- e) produção de força ascensional no pavimento, devida às pressões hidrostáticas;
- f) produção de força de arrastamento dos solos pelo fluxo a alta velocidade.

Para que tais efeitos não se façam sentir, é indispensável que se tenha um sistema de drenagem eficiente, o qual comporta vários componentes, cada um com suas finalidades específicas os quais serão abordados ao longo deste Manual.

Primeiramente aborda-se a transposição de talvegues que permitirá que o corpo estradal da nova rodovia os transponha sem afetar o livre escoamento das águas através de obras de arte correntes ou obras de arte especiais que serão construídas. Por vezes, na transposição de talvegues muito grandes e por razões técnico/econômicas, as obras de arte podem não ter apenas a função de ponte sobre os rios que eles formam, mas também funcionar como viaduto.

Seguidamente temos a drenagem de proteção do corpo estradal que contempla a drenagem superficial, a drenagem do pavimento e a drenagem subterrânea e profunda. Para complementar abordam-se ainda os aspectos da drenagem de muros de arrimo e a drenagem em travessias urbanas.

1 DRENAGEM PARA TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES

Em sua função primordial, a drenagem de uma rodovia deve eliminar a água que, sob qualquer forma, atinge o corpo estradal, captando-a e conduzindo-a para locais em que menos afete a segurança e durabilidade da via, assim como o meio ambiente.

No caso da transposição de talwegues, essas águas originam-se da bacia a montante e, por imperativos hidrológicos e do perfil do terreno, têm que atravessar a estrutura da estrada sem comprometê-la. Esse objetivo é alcançado com a introdução de uma ou mais linhas de bueiros sob os aterros ou construção de pontilhões ou pontes transpondo os cursos de água, obstáculos a serem vencidos pela rodovia.

É fundamental que os técnicos que acompanham a construção de uma rodovia tenham ampla consciência da importância da drenagem na garantia da estabilidade da via e, em consequência, contribuam de maneira coerente, utilizando-se de soluções técnico/econômicas para o mais adequado funcionamento do mais ou menos complexo sistema de drenagem a ser implantado.

1.1 Obras de arte correntes

Denominam-se obras de arte correntes os dispositivos de drenagem para o escoamento das águas superficiais interceptadas pelos aterros da rodovia

1.1.1 Bueiros

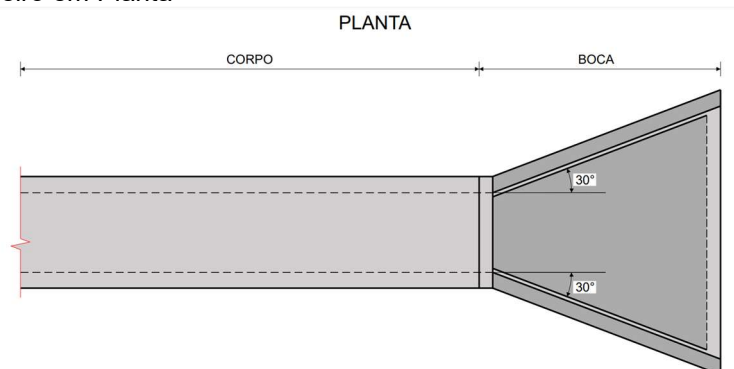
Os bueiros são obras destinadas a permitir o escoamento das águas que são interceptadas pela rodovia, que podem drenar as águas precipitadas a montante do corpo estradal e acumuladas nos talwegues naturais (bueiros de grotá) ou precipitadas sobre a plataforma e taludes da nova rodovia e acumuladas em caixas coletoras (bueiros de greide). Compõem-se de um “Corpo” que atravessa o aterro da estrada e por duas “Bocas” que melhoram a entrada da água a montante e a saída da água a jusante e são compostas de soleira, muro de testa e alas.

No caso de o nível da entrada da água na boca de montante estar situado abaixo da superfície do terreno natural, a referida boca deve ser substituída por uma caixa coletora.

Os bueiros podem ser classificados em quatro classes, a saber: quanto à forma da seção; quanto ao número de linhas; quanto aos materiais com os quais são construídos; quanto à escondidade; e quanto à forma da seção.

São tubulares, quando a seção for circular; celulares, quando a seção transversal for retangular ou quadrada; e especiais, quando tiverem seções diferentes das citadas anteriormente, como é o caso dos arcos, por exemplo. Para o caso dos bueiros metálicos corrugados, existe uma gama maior de formas e dimensões, entre elas: a circular, a lenticular, a elíptica e os arcos semicirculares ou com raios variáveis (ovoides).

Figura 1 – Bueiro em Planta



Fonte: DER/PR, 1996.

Quanto ao número de linhas, são simples, quando só houver uma linha de tubos, de células etc.; duplos e triplos, quando houver duas ou três linhas de tubos, células etc. Não são recomendáveis números maiores de linhas, para não provocar alagamento em uma faixa muito ampla.

Os materiais atualmente usados para a construção de bueiros no DER/PR são de diversos tipos: concreto simples, concreto armado, chapa metálica corrugada ou polietileno de alta densidade - PEAD, além do PRFV – plástico reforçado de fibra de vidro.

Nas bocas, alas e caixas coletoras era comum usar-se alvenaria de pedra argamassada, com recobrimento de argamassa de cimento e areia, ou blocos de concreto de cimento, mas atualmente usa-se mais o concreto pré-moldado.

Os bueiros podem ser:

- a) **normais**: quando o eixo do bueiro for perpendicular ao eixo da rodovia;
- b) **esconsos**: quando o eixo longitudinal do bueiro fizer um ângulo diferente de zero com a normal ao eixo da rodovia.

Os bueiros devem estar localizados:

- a) sob os aterros, em geral deve-se lançar o eixo do bueiro o mais próximo possível da linha do talvegue; não sendo possível, deve-se procurar uma localização esconsa que afaste o eixo o mínimo possível da normal ao eixo da rodovia, tomando-se precauções quanto aos deslocamentos dos canais nas entradas e saídas de água do bueiro;
- b) nas bocas dos cortes, quando o volume de água dos dispositivos de drenagem (embora previstos no projeto) for tal que possa erodir o terreno natural nesses locais;
- c) nos cortes, quando for interceptada uma ravina e caso a capacidade de escoamento das sarjetas seja superada.

No que se refere ao tipo de material adotado, deverão ser seguidas as indicações do projeto executivo ou das especificações estabelecidas no DER/PR. Fazem-se a seguir algumas considerações sobre a sua construção.

1.1.1.1 Bueiros tubulares de concreto

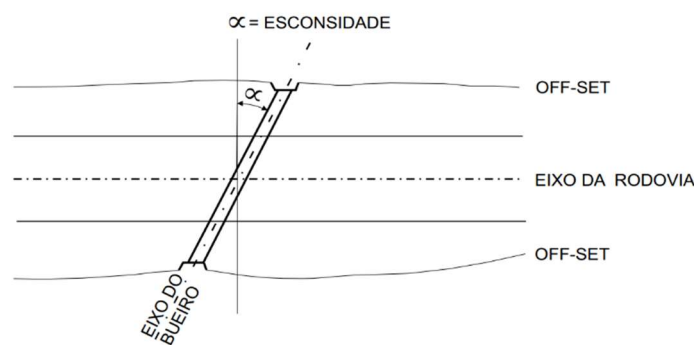
Bueiros tubulares de concreto são estruturas drenantes, constituídas por tubos de concreto normalmente posicionados transversalmente à plataforma, destinadas a permitir a passagem das águas sob a rodovia. Podem drenar as águas precipitadas fora do corpo

estradal e acumuladas nos talwegues naturais (bueiros de grota) ou precipitadas sobre a plataforma e taludes de cortes e acumuladas em caixas coletoras (bueiros de greide).

Os bueiros tubulares de concreto podem ser executados em linhas simples, duplas ou triplas, com tubos de diâmetros 0,60 m, 0,80 m, 1,00 m, 1,20 m, 1,50 m e 2,00 m, os dois primeiros, normalmente somente em linhas simples. Podem ainda ser classificados como normais ou esconsos, dependendo da inclinação dos tubos em relação ao eixo da rodovia. São denominados bueiros normais aqueles em que a linha de tubos fica posicionada perpendicularmente em relação ao eixo da estrada. Quando isso não ocorre o bueiro é classificado como esconso.

Define-se como esconsidade o ângulo formado pelo eixo longitudinal do bueiro e uma linha perpendicular ao eixo da rodovia, conforme mostrado na Figura a seguir.

Figura 2 – Bueiro esconso



Fonte: DER/PR, 1996.

Recomenda-se a adoção de esconsidades múltiplas de 10°, com variação até um valor limite de 40°.

Os bueiros tubulares são constituídos pelos seguintes elementos:

- berço de concreto ciclópico:** é o leito de assentamento do bueiro, sendo composto de duas partes: a inferior onde ficam assentados os tubos e a superior, que serve de calço aos tubos, impedindo o deslocamento lateral dos mesmos;

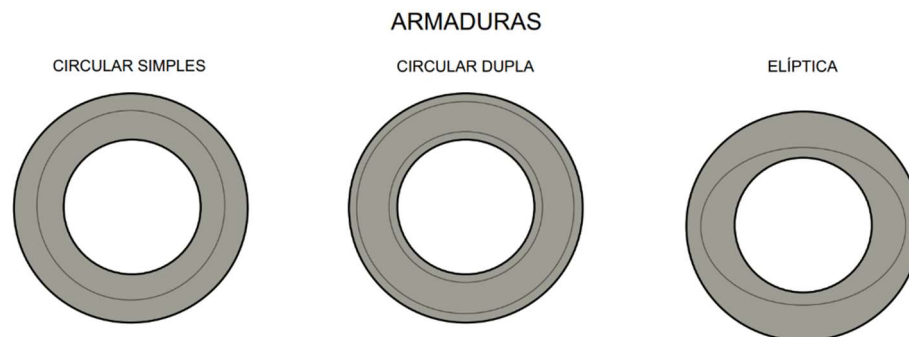
- b) **tubo de concreto:** é o corpo do bueiro, propriamente dito, por onde passa o volume de água drenado.

Os tubos circulares empregados em bueiros tubulares, poderão ser executados em concreto simples ou armado.

Normalmente os tubos em concreto simples são empregados nas redes de águas pluviais e de esgotos. Nas redes de águas pluviais podem ser de dois tipos: PS1 e PS2, de acordo com as prescrições da ABNT NBR 8890.

Os tubos circulares de concreto armado, por sua vez, podem ser de 4 classes: PA1, PA2, PA3 e PA4, definidas pela ABNT NBR 8890 em função das cargas médias de trinca e de ruptura para cada diâmetro. Podem ainda ter armadura de forma circular, em linhas simples ou duplas, ou elíptica.

Figura 3 – Tubos circulares de concreto armado



Fonte: DER/PR, 1996.

1.1.1.1 Aspectos relacionados com as características geométricas definidas no projeto

A utilização de cada classe é função do diâmetro e das cargas que os tubos vão suportar. A forma e o tipo de armadura para cada tubo também é função do diâmetro e das cargas que o bueiro irá suportar. Normalmente é utilizada em bueiros a armadura circular dupla e excepcionalmente, quando expressamente recomendada, a do tipo elíptica.

A classe de tubo a empregar em cada caso deverá ser definida em função da carga que irá atuar sobre o tubo, ou seja:

$$\text{Carga sobre o tubo em } kg/m = \frac{P \cdot f_s}{f_a}$$

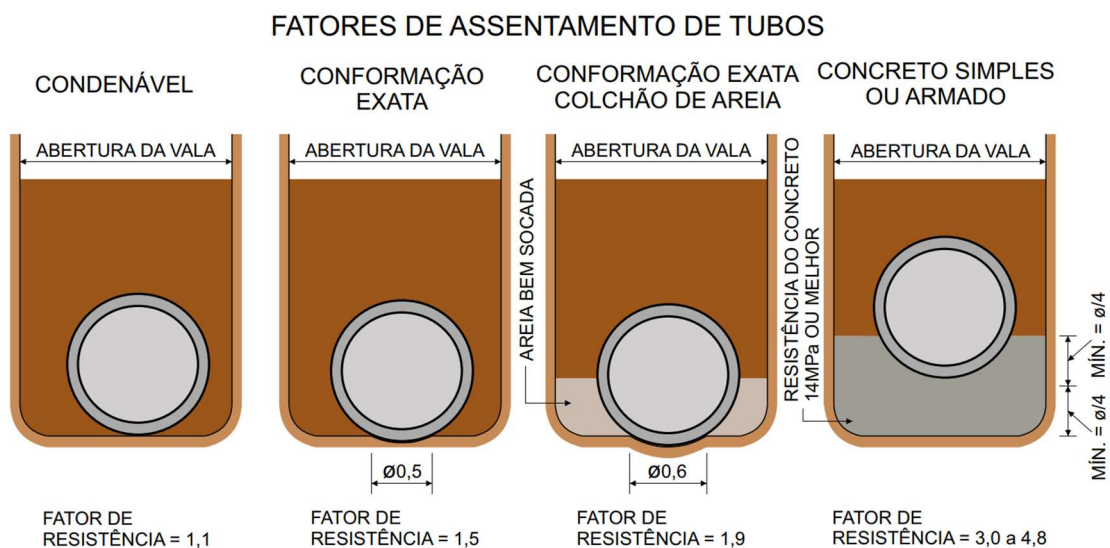
Onde:

P - soma das cargas do aterro e do trânsito, em kg/m;

f_s - fator de segurança, no mínimo igual a 1,5;

f_a - fator de assentamento, variável de 1,1 a 4,8, conforme o tipo ou qualidade de assentamento.

Figura 4 – Fatores de assentamento dos tubos



O tubo colocado e aterrado deverá resistir:

- a) à carga em kg/m do aterro (P_1);
- b) à carga em kg/m do trânsito (P_2).

A carga total sobre o tubo será a soma dos pontos 1 e 2 vezes o fator de segurança.

O tubo resistirá a carga total $(P_1 + P_2) \times f_s$, quando tiver a resistência de trinca em kg/m, conforme tabelas a seguir, multiplicada pelo fator de assentamento (f_a).

As cargas médias especificadas para a compressão diametral dos tubos circulares em concreto simples e armado estão apresentadas a seguir:

Quadro 1 – Compressão diametral de tubos simples

DN	Força mínima de ruptura kN/m	
	PS1	PS2
Classe		
200	16	24
300	16	24
400 ^a	16	24
500	20	30
600 ^b	24	36

^a Para tubos simples com diâmetro igual ou menor que 400 mm, a força mínima de ruptura é a correspondente a este valor.

^b Tubos com diâmetro nominal acima de 600 mm devem ser armados, reforçados com fibras de aço ou armados com reforço secundário de fibras de aço.

Os diâmetros comerciais compreendem os tubos de 0,60 m, 0,80 m, 1,00 m e 1,20 m. São os mais utilizados e facilmente encontrados no comércio.

Os tubos com 1,50 m, 1,75 m e 2,00 m de diâmetro não são de uso frequente e normalmente só são conseguidos através de encomenda prévia ou de moldagem no próprio canteiro de obras.

Em alguns casos excepcionais pode ser indicada a utilização de tubos de concreto armado em seção ovoidal. Pelo formato, apresentam uma maior resistência às cargas de ruptura. Normalmente os bueiros ovóides são empregados em substituição a bueiros celulares, em decorrência da economia de tempo em sua implantação, se comparado com o processo normal de execução dos bueiros celulares.

Quadro 2 – Compressão diametral de tubos de concreto armado, reforçados com fibras ou armados com reforço de fibras simples

DN	Força mínima isenta de fissura kN/m				Força mínima de ruptura ^b kN/m			
	PA1	PA2	PA3	PA4	PA1	PA2	PA3	PA4
Classe ^a								
300	12	18	27	36	18	27	41	54
400	16	24	36	48	24	36	54	72
500	20	30	45	60	30	45	68	90
600	24	36	54	72	36	54	81	108
700	28	42	63	84	42	63	95	126
800	32	48	72	96	48	72	108	144
900	36	54	81	108	54	81	122	162
1000 ^c	40	60	90	120	60	90	135	180
1100	44	66	99	132	66	99	149	198
1200	48	72	108	144	72	108	162	216
1500	60	90	135	180	90	135	203	270
1750	70	105	158	210	105	158	237	315
2000	80	120	180	240	120	180	270	360

^a Para classes superiores a PA4 devem ser utilizadas galerias celulares de seção retangular de acordo com a ABNT NBR 15396

^b Para tubos armados, reforçados com fibras e armados com reforço secundário de fibras, a força de ruptura mínima deve corresponder a 1,5 da força mínima isenta de fissura.

^c Tubos reforçados exclusivamente com fibras de aço podem ser fabricados com diâmetro nominal até 1000 mm. Os tubos com diâmetro nominal maior que 1000 mm devem ser armados ou armados com reforço secundário em fibras de aço.

As bocas de bueiros em concreto são constituídas de três partes: cabeceira ou testada, alas e calçada. Podem ser normais ou esconsas, dependendo da posição do bueiro em relação ao eixo da rodovia.

Bocas normais são aquelas construídas nas extremidades de bueiros perpendiculares ao eixo da rodovia. Nos demais casos as bocas são denominadas de esconsas.

Denominam-se cabeceiras ou testadas as paredes de concreto que delimitam as extremidades dos bueiros e servem como parede de contenção dos aterros sobre os bueiros. Ficam sempre posicionadas paralelamente ao eixo da rodovia.

As alas são as paredes laterais das bocas. Têm duas funções básicas: orientar o fluxo da água na entrada e na saída dos bueiros e conter os taludes de aterros nas laterais das bocas.

Tanto nos bueiros normais como nos esconsos as cabeceiras são paralelas ao eixo da rodovia.

Com relação as alas, nos bueiros normais, em cada boca, as duas alas são inclinadas em 30° em relação ao eixo da rodovia. Já nos bueiros esconsos, uma das alas têm inclinação de 30° e a outra passa a ter uma inclinação β em relação ao eixo do bueiro, variável para cada esconsidade (α) conforme a tabela a seguir.

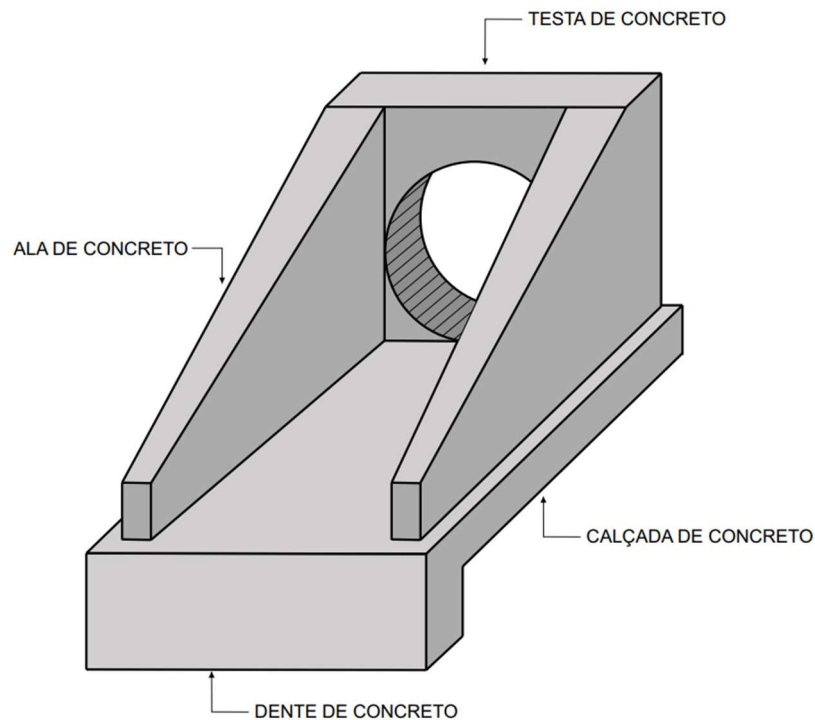
Tabela 1 – Esconsidade das alas da boca

ESCONSIDADE (°) (α)	ABERTURA DA ALA EM RELAÇÃO AO EIXO DO BUEIRO (β)	ABERTURA DA ALA EM RELAÇÃO A UMA NORMAL AO EIXO DA RODOVIA ($\alpha+\beta$)
0	30,00	30,00
5	27,67	32,67
10	25,63	35,63
15	23,79	38,79
20	22,12	42,12
25	20,57	45,57
30	19,11	49,11
35	17,71	52,71
40	16,34	53,34
45	15,00	60,00

As bocas dos bueiros de concreto com seção ovoidal deverão ser executadas em concreto ciclópico, com formato idêntico às dos bueiros com seção circular.

A calçada é o piso da boca dos bueiros tubulares de concreto. É confeccionada com concreto de f_{ck} 20 Mpa podendo, se definindo em projeto, ser concreto ciclópico, e possui na extremidade um dente engastado no solo, em sentido paralelo a cabeceira, destinado a fixar a boca do bueiro ao terreno natural e impedir a entrada de água por baixo da calçada.

Figura 5 – Boca de um bueiro tubular de concreto



Fonte: DER/PR, 1996.

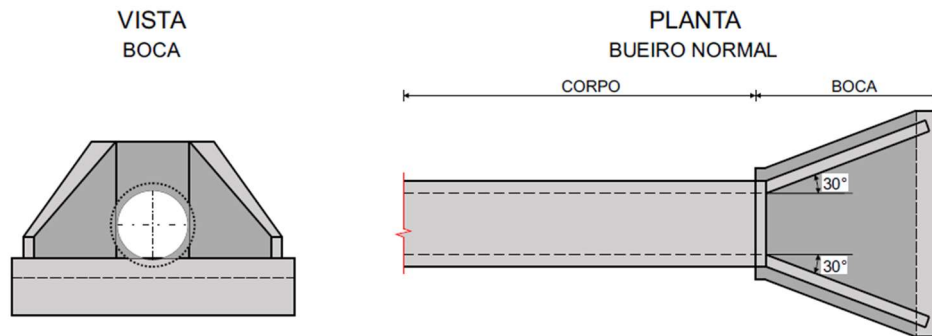
Todos os detalhes de projetos dos bueiros tubulares de concreto constam do "Álbum de Projetos-Tipo" do DER/PR.

Os detalhes esquemáticos dos berços, tubos e bocas de um bueiro simples tubular de concreto, estão apresentados nas figuras a seguir.

A esconsidade é definida pelo ângulo formado entre o eixo longitudinal do bueiro e a normal ao eixo longitudinal da rodovia.

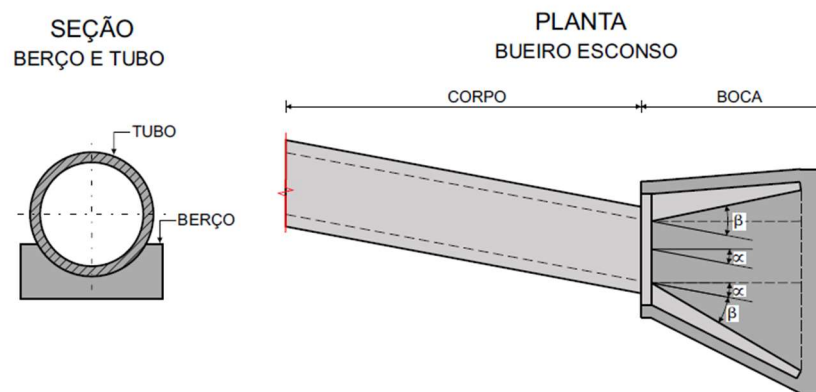
A escolha do local de implantação dos bueiros tubulares deve ser procedida, preliminarmente, a partir da análise dos elementos de projeto tais como: plantas topográficas, perfis longitudinais, seções transversais gabaritadas, fotografias aéreas etc.

Figura 6 – Bueiro normal – planta



Fonte: DER/PR, 1996.

Figura 7 – Bueiro esconso – planta



Fonte: DER/PR, 1996.

Os bueiros de greide têm suas posições escolhidas a partir do estudo da capacidade de escoamento das sarjetas de corte adotadas no projeto.

O tipo de bueiro a executar em cada caso é função do dimensionamento hidráulico procedido pelos estudos hidrológicos.

Os bueiros de grota são executados em linhas simples, duplas ou triplas e diâmetros a partir de 0,60m. Tubos com 0,60m e 0,80m de diâmetro, normalmente, só são empregados em linhas simples.

1.1.1.1.2 Aspectos relacionados com a execução dos bueiros tubulares

De posse da restituição topográfica do terreno e da cota do greide de terraplenagem sobre o eixo do bueiro, deve ser desenhado o terreno e gabaritada a seção transversal da rodovia, considerando-se as variações na geometria da plataforma em decorrência da escorridade. Em seguida o bueiro deverá ser desenhado na seção gabaritada, obedecendo-se os seguintes critérios:

- a) as cotas de entrada e saída da água devem ficar compatíveis com as cotas do terreno natural a montante e a jusante. Caso isso não ocorra, deverá ser indicada a abertura de valas de derivação ou o reaterro de depressões, de modo a permitir o livre escoamento das águas;
- b) o recobrimento mínimo recomendado de aterro sobre a geratriz superior externa dos tubos é de 0,60 m;
- c) a altura máxima de aterro sobre os tubos deverá ser inferior a altura capaz de proporcionar uma carga média de trinca especificada pela ABNT NBR 8890;
- d) a velocidade máxima da água na saída dos bueiros tubulares deverá ser de 5,0 m/s. Nessas condições, as declividades máximas para cada diâmetro são as seguintes:

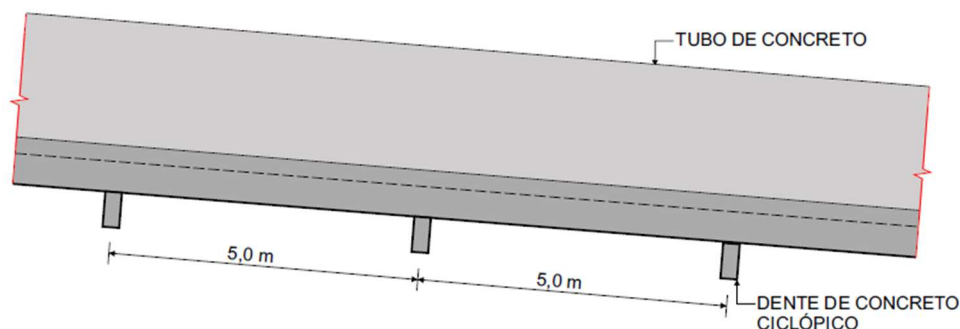
Tabela 2 – Relação entre os Diâmetros dos Bueiros e as Declividades máximas

DIÂMETRO Ø (m)	DECLIVIDADE MÁXIMA i _{máx} (%)
0,20	30,60
0,30	17,80
0,40	12,10
0,50	9,00
0,60	7,00
0,70	5,70
0,80	4,80
1,00	3,60
1,10	3,10
1,20	2,80
1,30	2,50
1,40	2,30
1,50	2,00
2,00	1,40
2,50	1,00

Em terrenos com inclinação transversal superior a 8%, deverá ser estudada a adoção de uma ou a conjugação de mais de uma das seguintes soluções:

- a) emprego de caixa coletora a montante;
- b) escavação de trincheira a montante, de modo a permitir a execução da boca em cota inferior à do terreno natural. A escavação deverá ser executada em profundidade e com taludes capazes de garantir a estabilidade das paredes;
- c) execução da boca de jusante no corpo do aterro em solo, com a previsão de descida de água em degraus ou outro dispositivo que permita a condução e a diminuição da velocidade do fluxo;
- d) nas bacias em corte com água permanente, deverá ser prevista a execução de descida de água em degraus até a caixa coletora;
- e) nos bueiros de greide, a caixa coletora deverá ter a parede de montante adaptada à geometria da sarjeta para facilitar a entrada de água. A jusante, sempre que possível, poderão ser abertas "janelas" nos cortes para o deságue;
- f) os bueiros com declividade superior a 5% deverão ser providos de dentes de concreto ciclópico, solidários ao berço, espaçados entre si de cinco em cinco metros;

Figura 8 – Dentes de concreto ciclópico



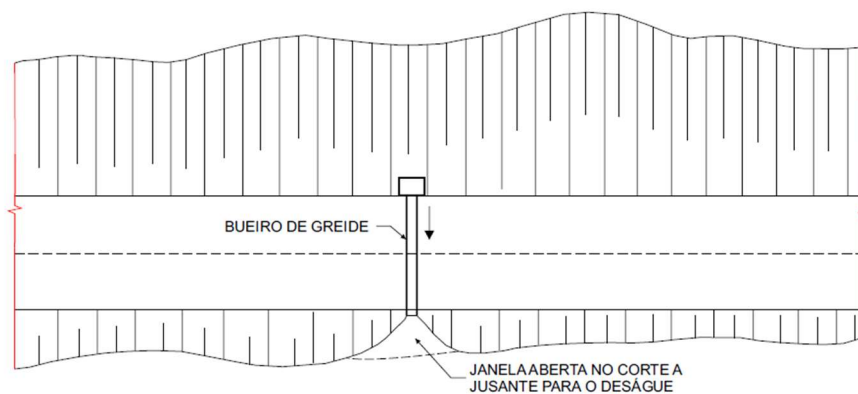
Fonte: DER/PR, 1996.

- g) a extensão total de cada bueiro tubular deverá resultar em um número inteiro, correspondente a igual número de unidades de tubos de um metro de comprimento.

Os elementos obtidos no projeto serão colocados sobre a forma de quadros, que deverão conter, pelo menos, os seguintes elementos: localização (estaca), tipo, esconsidade, declividade, lado e cotas de montante e jusante, comprimentos a esquerda, a direita e total, tipo de bocas e demais observações de ordem construtiva.

Apresenta-se a seguir, esquematicamente, a planta de um segmento de estrada, com o posicionamento de dois bueiros, sendo um de greide e outro de talvegue, bem como as seções transversais sobre essas duas obras.

Figura 9 – Bueiro de greide com janela aberta no corte

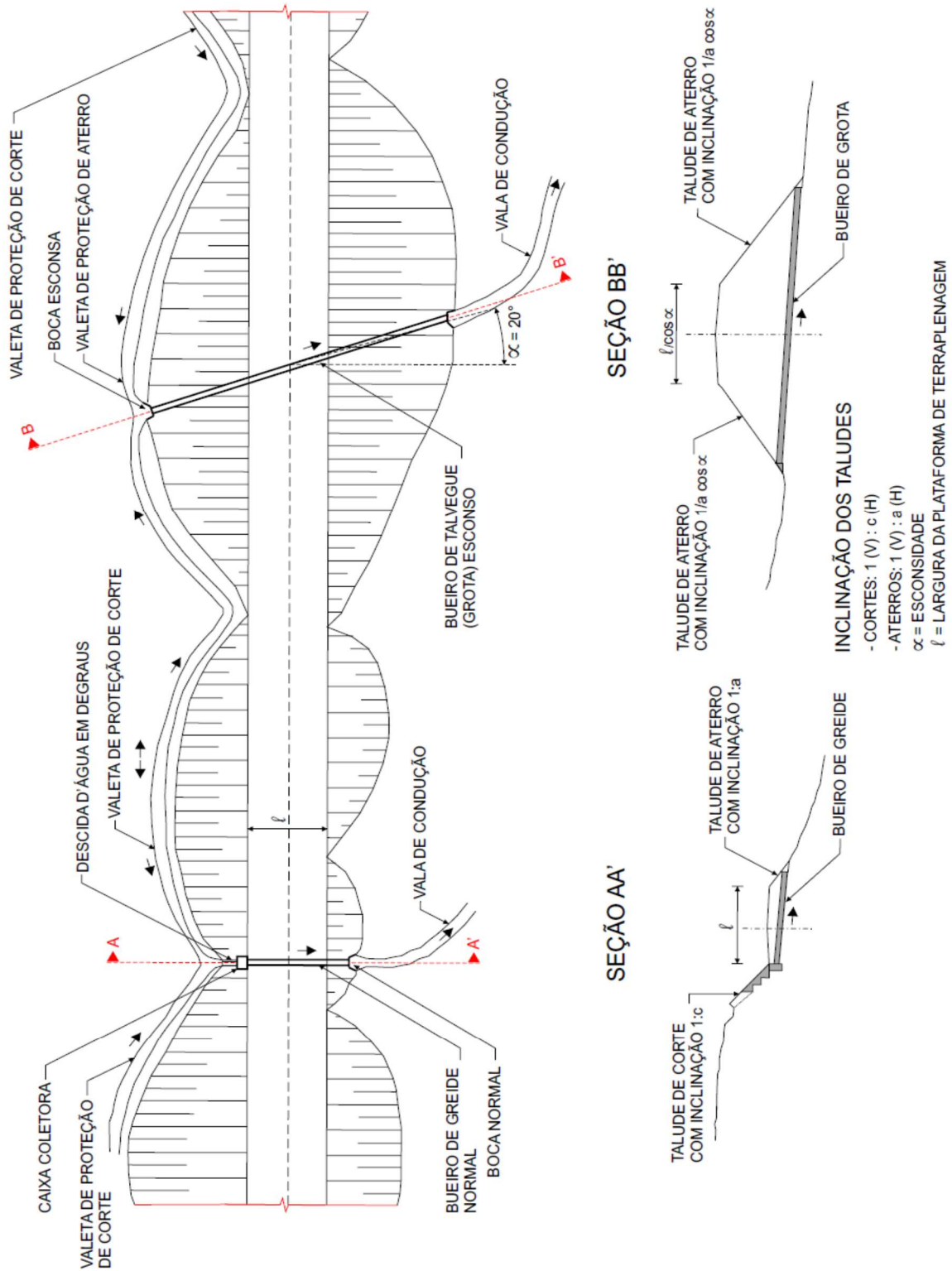


Fonte: DER/PR, 1996.

A sequência natural de etapas executivas visando a implantação de bueiros tubulares de concreto é a seguinte:

- a) locação da obra de acordo com os elementos de projeto, com a colocação de piquetes a cada 5 m. Pequenos ajustes de campo nos elementos de projeto, tais como: localização, esconsidade, declividade, cotas etc., poderão ocorrer nesta fase;

Figura 10 – Planta esquemática de um segmento de rodovia



Fonte: DER/PR, 1996.

- b) preparo do leito de assentamento do bueiro, através da abertura de valas ou execução de aterros para a moldagem dos berços de concreto. As valas deverão, sempre que possível, ser abertas com uma largura adicional em relação ao berço de 0,50 m para cada lado. Cuidados especiais para evitar desmoronamentos deverão ser adotados nas valas com altura superior a 1,00 m;

Observação: Quando houver interferência entre o eixo do bueiro projetado e o eixo do talvegue, deverá ser providenciado o desvio deste último durante a execução do bueiro (execução de corta-rio).

O terreno de fundação do bueiro deve estar estabilizado para a concretagem do berço.

- c) execução da parte inferior do berço de concreto ciclópico sobre o leito perfeitamente compactado e nivelado;
- d) instalação dos tubos sobre a parte inferior do berço após a cura do mesmo e complementação da concretagem do berço. Para uma perfeita compactação do reaterro, deverá ser observado o espaçamento de 20 cm entre as linhas de tubos nos casos de bueiros duplos ou triplos;
- e) rejuntamento dos tubos com argamassa de cimento e areia;
- f) execução do reaterro, preferencialmente com o próprio material escavado, desde que seja de boa qualidade, ou com material importado.
- g) execução das bocas de montante e jusante. As bocas de montante do tipo caixa coletora poderão ser executadas antes da instalação dos tubos.
- h) o reaterro deverá prosseguir até se atingir uma espessura de 60cm acima da geratriz superior externa do corpo do bueiro, com a compactação do material em camadas individuais de no máximo 15 cm de espessura.

1.1.1.1.3 Aspectos relacionados com o controle de execução

Para assegurar a perfeita execução dos serviços, os seguintes aspectos devem ser observados:

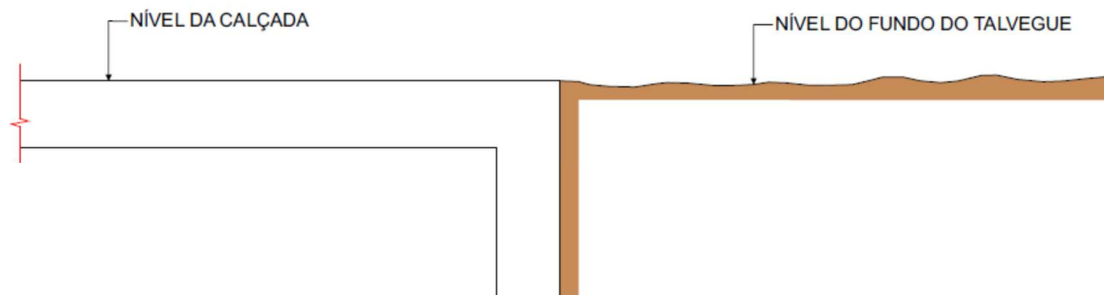
- a) todo o material utilizado deve ser de boa qualidade e estar de acordo com as especificações;
- b) quando a fundação ocorrer sobre solos de má qualidade, deverá ser prevista a remoção e substituição desses materiais por enrocamento de pedra de mão arrumada até a cota de concretagem do berço;
- c) nos casos de abertura de trincheiras nas bocas de montante, os taludes em solo devem ser executados com inclinação suficiente para garantir a estabilidade da trincheira. É importante a realização de inspeções periódicas para a limpeza de materiais eventualmente carregados durante as chuvas;
- d) as três partes que compõem as bocas: cabeceira, alas e piso, devem ser concretadas simultaneamente, de modo a garantir uma perfeita integração das mesmas;
- e) os tubos extremos dos bueiros, tanto a montante como a jusante, devem ser engastados nas bocas, fazendo com que todas as partes do bueiro: berço, tubos e bocas fiquem solidárias entre si;
- f) os bueiros tubulares de concreto deverão ser executados de modo que todos os tubos sejam empregados em seu tamanho normal (1,00 m), sem quebra de tubos para encaixes;
- g) nas regiões arenosas os bueiros tubulares deverão ser rejuntados com manta sintética que evitam a entrada de material granular para o interior dos tubos;
- h) durante as operações de reaterro, deve merecer atenção especial a compactação dos solos junto às paredes do tubo. Esta operação deve ser feita inicialmente por soquetes mecânicos e complementada com placas vibratórias ou "sapos mecânicos";
- i) o tráfego de veículos e equipamentos sobre os bueiros acabados só deve ser autorizado após as operações de compactação da camada de 0,60m de recobrimento dos tubos;

- j) as valas de condução abertas nas entradas e/ou saídas de bueiros deverão ter seção com largura do fundo no mínimo igual ao diâmetro dos tubos. Além disso a seção da vala deverá ser adaptada à largura da boca.

Tendo em consideração os aspectos construtivos dever-se-ão ter em atenção as seguintes recomendações:

- a) nos bueiros com inclinação superior a 5%, além dos dentes fundidos no berço, deverá ser prevista também a execução de dissipadores de energia nas bocas de jusante. Esses dissipadores deverão ser construídos com concreto simples e enrocamento de pedra de mão argamassada, de acordo com o detalhamento constante do "Álbum de Projetos-Tipo" do DER/PR;
- b) quando o deságue se der sobre o talude do corpo do aterro, deverá ser executada descida de água de aterros em degraus acoplada à boca de jusante do bueiro. No final da descida de água deverá ser prevista ainda a construção de um dissipador de energia;
- c) nas bacias em corte com descida de água em degraus, a face superior da tampa da caixa coletora deverá ficar posicionada no mesmo nível do piso mais baixo da escada;
- d) as valas de derivação deverão ser estendidas até pontos de talvegue ou fora dele, que proporcionem um escoamento contínuo, tanto a montante como a jusante. Sempre que possível as valas e o bueiro deverão apresentar declividades semelhantes;
- e) as calçadas devem sempre ser executadas ao nível do terreno natural, se possível na cota de fundo do talvegue. Quando isto não for possível e o terreno natural ficar mais baixo, deverá ser providenciado um enrocamento de pedra arrumada a jusante da calçada;

Figura 11 – Nível da calçada da boca do bueiro



Fonte: DER/PR, 1996.

- f) quando da chegada dos tubos a obra, recomenda-se que seja verificada "in loco" o tipo de armadura do tubo (se é simples, dupla ou tripla), mediante a quebra de um pequeno pedaço do tubo, preferencialmente daqueles que se destinarão a solidarização com as bocas. Trata-se de verificação expedita; em caso de dúvida deverão ser executados os ensaios de norma ABNT-NBR 8890.

1.1.1.2 Bueiros tubulares metálicos

Os bueiros tubulares metálicos são dispositivos empregados em casos especiais, quando a solução de bueiro em concreto, por quaisquer motivos (localização da obra, tempo de execução, processo executivo etc.) não for recomendada.

Os tubos metálicos corrugados devem ser fabricados a partir de bobinas de aço, segundo normas da AASHTO e ASTM, e revestidos adequadamente para resistir às mais diversas condições ambientais.

A união das chapas ou segmentos pode ser feita por meio de parafusos ou cintas, de acordo com o tipo de produto escolhido.

Os tubos metálicos são constituídos pela união de chapas pré-fabricadas, com formato circular ou lenticular. Essas chapas são fabricadas em comprimentos padronizados e formato variável para cada diâmetro comercial, de modo a resultar sempre um número inteiro de chapa para a formação de um anel de um determinado diâmetro.

As chapas são corrugadas e solidarizadas entre si, tanto longitudinalmente como transversalmente, através de parafusos. Podem receber tratamento contra corrosão (galvanoplastia) ou não, dependendo das recomendações do projeto.

Nos bueiros metálicos, as bocas devem ser substituídas por enrocamentos de pedra argamassada nas extremidades, de modo a proteger as saias dos aterros. Pode se ainda eliminar as duas bocas, colocando-se chapas chanfradas nas extremidades, conforme figura a seguir:

Figura 12 – Extremidade do bueiro em tubo metálico



Fonte: ARMCO STACO, 2013.

Os diâmetros comerciais dos bueiros metálicos circulares variam de 1,50 m até 7,80 m.

Um tipo especial de bueiro metálico é constituído por chapa circulares de encaixe executadas por processo não destrutivo do aterro, que permitem a passagem sob um maciço terroso sem causar interferência com a superfície do terreno. As chapas vão sendo montadas à medida que as escavações vão avançando no interior do maciço.

As chapas são comercializadas em dimensões capazes de formarem tubos circulares com diâmetros entre 1,20 m e 7,80 m, em anéis com 0,457 m de comprimento.

1.1.1.3 Bueiros celulares de concreto

Bueiros celulares de concreto são estruturas drenantes constituídas por células de concreto armado com seção quadrada ou retangular, destinadas a passagem das águas de córregos e riachos de pequeno porte sob a rodovia. Podem ser executados em linhas simples, duplas ou triplas.

O Álbum de Projetos-Tipo do DER/PR prevê o emprego de bueiros quadrados com lados de 1,50 m, 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m em linhas simples, duplas e triplas e bueiros retangulares com 1,50 m x 2,50 m (linha simples), 2,00 m x 3,00 m (linha simples), 2,50 m x 3,50 m (linhas simples e duplas) e 3,00 m x 4,00 m (linhas simples, duplas e triplas), com a maior dimensão correspondendo a altura da célula.

Os bueiros celulares de concreto podem ser normais ou esconsos, tal como os bueiros tubulares. São constituídos pelos seguintes elementos:

- a) **lastro de concreto magro**: é o leito de assentamento do bueiro celular. Tem 0,10 m de espessura e largura 0,30 m superior a largura externa das células, podendo ser assentado sobre o terreno natural apiloado, sublastro de brita ou enrocamento de pedra.
- b) **células de concreto armado**: constituem o corpo dos bueiros celulares. Têm os formatos quadrado ou retangular, com mísulas nos quatro cantos internos.
 - As células são confeccionadas com concreto de $f_{ck} \geq 20$ MPa e armadas com aço CA-50A ou CA-50B. Apresentam no fundo um revestimento de argamassa, cimento e areia, no traço 1:3, com formato triangular.
 - A cada 25,00 m deverão ser executadas juntas de dilatação nas paredes externas e lajes superior e inferior, conforme detalhes tipo apresentados no "Álbum de Projetos Tipo".
- c) **bocas de montante e jusante**: são as aberturas de entrada e saída das águas, confeccionadas com concreto armado de $f_{ck} \geq 20$ MPa. Podem ser normais ou esconsas, tal como os bueiros tubulares e são constituídas por cabeceiras, alas e calçadas.

As cabeceiras são vigas de concreto armado, executadas no topo da extremidade da laje superior, com dimensões de 0,30 m (altura) x 0,20 m (largura). Têm a função de conter os aterros sobre as células, ficando sempre paralelas ao eixo da rodovia.

As alas são similares às já descritas para os bueiros tubulares, porém armadas.

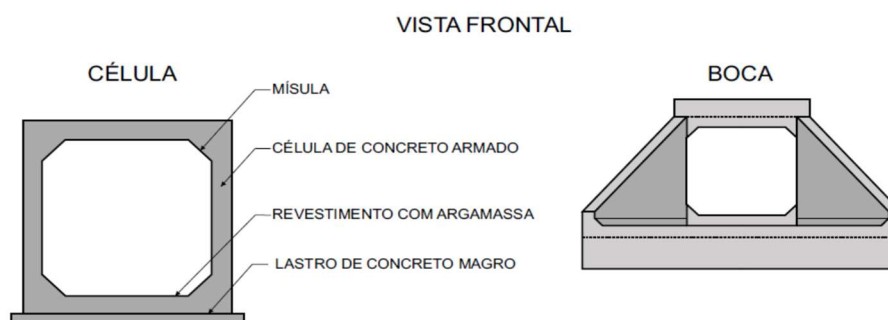
A calçada se constitui em um prolongamento da laje inferior armada do bueiro celular, com espessura variável entre 18 cm e 20 cm. É assentada sobre o lastro de concreto magro com 10 cm de espessura, que se prolonga do corpo do bueiro.

Na extremidade a calçada é dotada de uma viga engastada, armada, com 0,80 m de altura e 0,20 m de largura, destinada à fixação do bueiro celular ao terreno natural bem como de evitar a entrada de água por baixo da calçada, provocando o descalçamento da mesma.

Todos os detalhes de projeto dos bueiros celulares de concreto constam do Álbum de Projetos-Tipo do DER/PR.

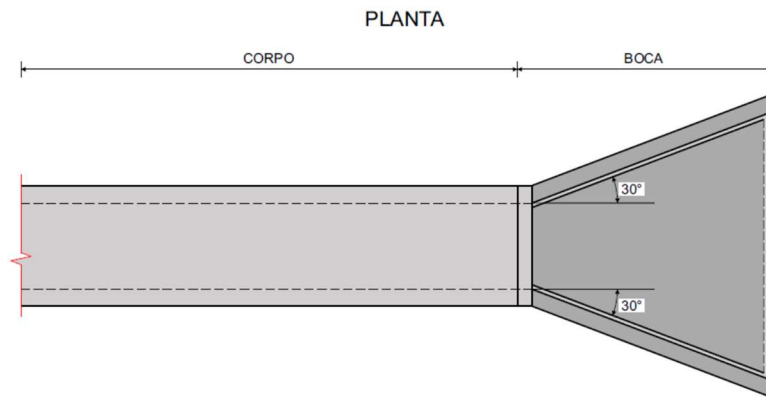
Os detalhes esquemáticos da célula, inclusive lastro de concreto magro, e bocas de um bueiro simples celular, normal, estão apresentados a seguir.

Figura 13 – Bueiro celular – vista frontal



Fonte: DER/PR, 1996.

Figura 14 – Bueiro celular – Vista em planta



Fonte: DER/PR, 1996.

1.1.1.3.1 Aspectos relacionados com as características geométricas

Os procedimentos a adotar quanto ao dimensionamento, posicionamento e detalhamento das características geométricas de cada obra são os mesmos descritas para bueiros tubulares, complementados e/ou modificados em função das seguintes condições:

- a) as dimensões das paredes e as características da ferragem de cada tipo de bueiro são variáveis em função da altura de aterro sobre as células. O "Álbum de Projeto-Tipo" do DER/PR fornece as espessuras de paredes, dimensões de mísulas, posições e diâmetros da ferragem para faixas de alturas de aterros variáveis de zero a 15 (quinze) metros;
- b) os bueiros celulares serão sempre construídos em aterros, com declividade longitudinal inferior a 1,4%, não exigindo, portanto, a previsão de descidas de água a montante e a jusante, a abertura de trincheiras a montante e dissipadores de energia a jusante. A limitação de velocidade máxima na saída do bueiro em 5m/s, conduz às seguintes declividades longitudinais máximas para os bueiros celulares:
- c) os bueiros celulares são moldados no local, em extensões não necessariamente múltiplas de um metro.

Tabela 3 – Declividades máximas dos bueiros celulares

SEÇÃO (m)	DECLIVIDADE MÁXIMA $i_{\text{máx}}$ (%)
1,50 X 1,50	1,40
2,00 X 2,00	0,90
2,50 X 2,50	0,70
3,00 X 3,00	0,60
1,50 X 2,50	1,20
2,00 X 3,00	0,80
2,50 X 3,50	0,60
3,00 X 4,00	0,50

1.1.1.3.2 Aspectos relacionados à execução

A sequência natural de etapas executivas visando a implantação de celulares de concreto é a seguinte:

- a) locação da obra de acordo com os elementos de projeto, com a colocação de piquetes a cada 5 metros. Pequenos ajustes de campo nos elementos de projeto tais como: localização, esconsidade, declividade, cotas etc., poderão ocorrer nesta fase;
- b) preparo do leito de assentamento do bueiro, através da abertura de valas ou execução de aterros para a confecção do lastro de concreto magro. As valas deverão ser abertas com uma largura adicional em relação ao corpo, de um metro para cada lado. Quando houver interferência entre o eixo do bueiro projetado e o eixo do talvegue, deverá ser providenciado o desvio deste último durante a execução do bueiro (execução de corta-rio);
- c) execução do lastro de concreto magro sobre o leito perfeitamente compactado e nivelado, em uma largura superior ao do corpo do bueiro em 0,15 m para cada lado. O lastro terá uma espessura de 0,10 m e abrangerá toda a extensão do bueiro, inclusive as bocas, no espaço entre as alas;
- d) execução de formas, montagem da armadura e concretagem do conjunto laje inferior do bueiro + calçadas das bocas + vigas inferiores nas extremidades das bocas sob as calçadas;

- e) execução de formas com respectivo escoramento, montagem da armadura e concretagem das paredes verticais e alas;
- f) execução de formas com respectivo escoramento, montagem da armadura e concretagem da laje e das vigas superiores;
- g) retirada das formas e dos escoramentos em um período nunca inferior a três dias após a conclusão da concretagem;
- h) execução do revestimento da laje de fundo do bueiro e da calçada das bocas, com argamassa de cimento e areia, traço 1:3;
- i) execução do reaterro do corpo do bueiro, após o período de cura do concreto, com o material escavado ou material selecionado, e compactação em camadas de no máximo 0,20 m de espessura, com "sapos mecânicos" ou placas vibratórias até 0,60 m acima da laje superior do corpo do bueiro, salvo para as obras em que esteja previsto o tráfego direto sobre a laje. O reaterro deverá progredir simultaneamente nos dois lados, de modo a se evitar a criação de esforços diferenciais sobre as paredes da célula.

1.1.1.3.3 Aspectos relacionados ao controle

Para assegurar a perfeita execução dos serviços, os seguintes aspectos devem ser observados:

- a) todo o material utilizado deve ser de boa qualidade e estar de acordo com as especificações;
- b) quando a resistência do terreno de fundação for inferior à tensão admissível no projeto, deverá ser indicada a remoção e substituição do material de fundação por outro de maior resistência;
- c) o corpo e as bocas dos bueiros celulares devem ser concretados simultaneamente (laje inferior, calçada das bocas, paredes verticais e alas);
- d) todo o concreto utilizado no corpo e nas bocas deve ser armado e apresentar $f_{ck} \geq 20$ MPa;
- e) durante as operações de reaterro, deve merecer atenção especial a compactação dos solos junto às paredes das células. Esta operação deve ser

feita inicialmente por soquetes manuais e complementada com placas vibratórias ou "sapos mecânicos";

- f) o tráfego de veículos e equipamentos sobre os bueiros celulares acabados só deverá ser autorizado após a conclusão das operações de reaterro, até uma altura mínima de 0,60 m acima da laje;
- g) o nível das calçadas das bocas de montante e de jusante do bueiro celular deverá coincidir com o nível do terreno natural;
- h) sempre que possível o bueiro celular deverá ser locado perpendicularmente ao eixo da rodovia. A conexão do talvegue às bocas do bueiro, se necessário, poderá ser feita por corta-rios ou valas de condução, executados sempre à jusante da obra;
- i) deverão ser executadas juntas de dilatação a cada 25 m de corpo de bueiro celular, apenas nas paredes externas e lajes superior e inferior. Os bueiros com comprimento entre 25 e 50 metros deverão levar uma junta de dilatação na extensão média da obra;
- j) os materiais, equipamentos, métodos e processos executivos utilizados na execução de bueiros celulares deverão estar de acordo com as recomendações correspondentes do Manual de Execução da parte Obras de Arte Especiais;
- k) no cálculo de volume de cimbramento, só é considerado aquele devido ao escoramento de cargas verticais, ou seja, somente o volume interno do bueiro. Não é calculado, e nem pago, o volume de escoramento das alas.

1.1.1.4 Bueiros capeados

Os bueiros capeados são estruturas drenantes executadas na transposição de córregos e rios de pequeno porte, geralmente utilizados como alternativa mais econômica em relação aos bueiros celulares de concreto. No entanto, devido ao custo elevado da mão de obra, de exigir mais tempo para executar a maioria das empreiteiras passou a substituí-los por bueiros celulares em concreto. Em estradas municipais e estradas vicinais algumas Prefeituras ainda utilizam este tipo de bueiro em trabalhos realizados por administração direta.

1.1.1.4.1 Aspectos relacionados com as características geométricas

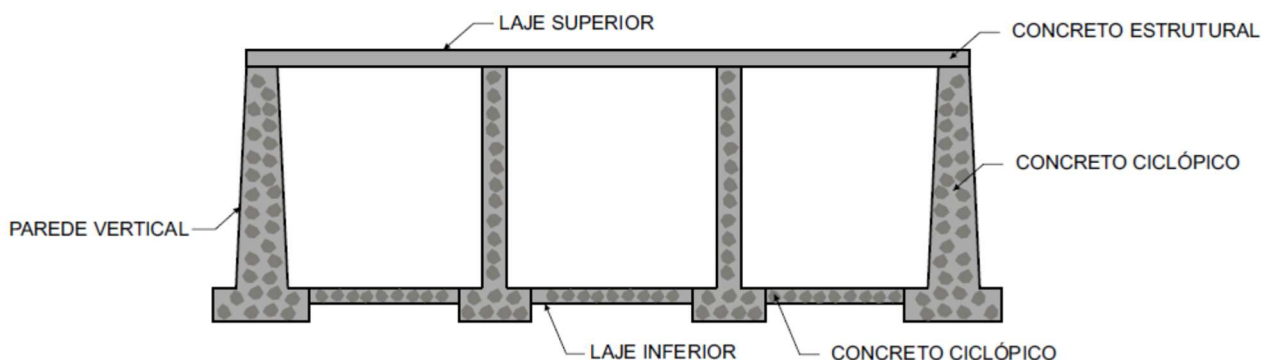
O Álbum de Projetos-Tipo do DER/PR prevê a execução de bueiros capeados de seção quadrada, com lados de 1,50 m, 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m, em linhas simples, duplas e triplas.

Os bueiros capeados são constituídos por paredes laterais em concreto ciclópico de $f_{ck} \geq 20$ MPa, com até 30% em volume de pedra de mão, assentadas sobre sapatas retangulares, também de concreto ciclópico. A laje superior, executada com concreto estrutural de $f_{ck} \geq 20$ MPa, é assentada sobre as paredes laterais.

Os bueiros capeados podem ser normais ou esconsos, tais como os bueiros tubulares. São constituídos pelos seguintes elementos:

- a) **sapatas**: são blocos de concreto que servem de fundação às paredes laterais dos bueiros capeados;
- b) **laje inferior**: é o piso do bueiro capeado, executada em concreto ciclópico de $f_{ck} \geq 20$ MPa, construída entre as sapatas e ao nível da face superior das mesmas;
- c) **paredes verticais**: são os lados do bueiro capeado que se apoiam sobre sapatas, ambas executadas em concreto ciclópico.
- d) **as paredes laterais extremas** apresentam seção trapezoidal e as intermediárias, nos bueiros duplos e triplos, seção retangular;

Figura 15 – Seção transversal de bueiro capeado



Fonte: DER/PR, 1996.

- e) laje superior: é a laje de cobertura do bueiro, executada com concreto armado de $f_{ck} \geq 20$ MPa e apoiada sobre as paredes verticais;
- f) bocas de montante e jusante: são as aberturas de entrada e saída das águas, confeccionadas com concreto ciclópico de $f_{ck} \geq 20$ MPa. Podem ser normais ou esconsas, tal como os bueiros tubulares e são constituídas por cabeceiras, alas e calçadas.

As cabeceiras são vigas de concreto ciclópico com 20 cm de largura e 30 cm de altura, construídas no topo das extremidades da laje superior. Tem a função de conter os aterros sobre os bueiros.

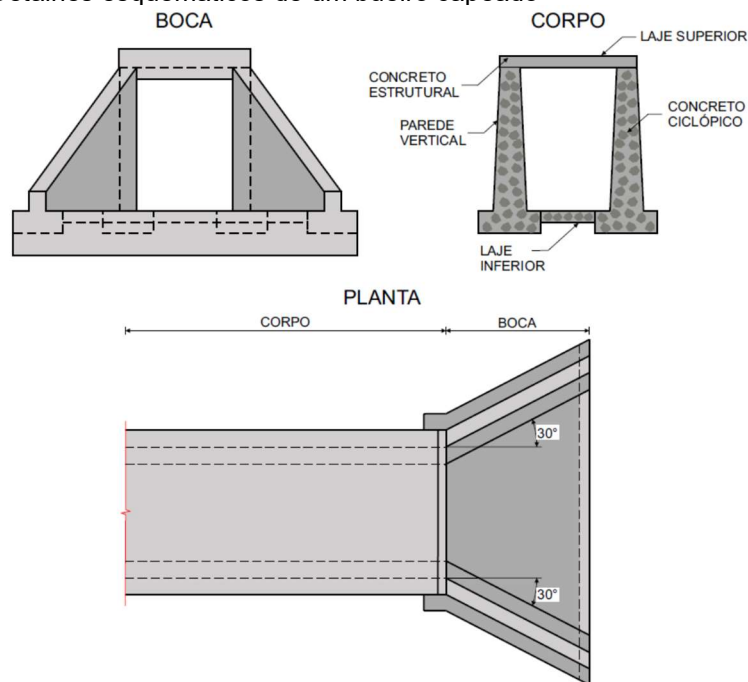
As alas são similares às já descritas para os bueiros celulares, porém executadas com concreto ciclópico.

A calçada se constitui em um prolongamento da laje inferior, em concreto ciclópico. Possui em sua extremidade uma viga de concreto, também ciclópico, com 0,80 m de altura e 0,20 m de largura, destinada à fixação da boca do bueiro capeado ao terreno natural e a evitar a entrada de água por baixo da calçada, provocando o descalçamento da mesma.

Todos os detalhes de projeto dos bueiros capeados constam do Álbum de Projetos-Tipo do DER/PR.

Os detalhes esquemáticos do corpo e das bocas de um bueiro capeado simples e normal estão apresentados a seguir.

Figura 16 – Detalhes esquemáticos de um bueiro capeado



Fonte: DER/PR, 1996.

Os procedimentos a adotar quanto ao dimensionamento, posicionamento e detalhamento das características geométricas de cada obra, são os mesmos descritos para os bueiros tubulares, complementados e/ou modificados em função das seguintes condições:

- a) o emprego de bueiros capeados se constitui, normalmente, em uma alternativa mais econômica em relação aos bueiros celulares de concreto. Assim sendo, a utilização desse tipo de obra fica condicionada aos resultados de um comparativo econômico entre as duas alternativas;
- b) a ocorrência de material pétreo na região é fundamental para a viabilização do emprego desse tipo de bueiro, visto que até 30% do volume do concreto ciclópico é constituído por pedra de mão;
- c) as dimensões das paredes verticais, lajes superior e inferior bem como a ferragem da laje superior são variáveis em função da altura de aterro sobre o bueiro. O Álbum de Projetos-Tipo do DER/PR fornece as espessuras de paredes e lajes e o tipo de armadura a utilizar em bueiro capeados para faixas de alturas de aterros variáveis de zero a 15 (quinze) metros;

- d) os bueiros capeados serão sempre construídos em aterros, com o nível das bocas de montante e de jusante coincidentes com o terreno natural e declividade longitudinal inferior a 1,40%, de acordo com a Tabela a seguir:

Tabela 4 – Declividade longitudinal dos bueiros capeados

SEÇÃO (m)	DECLIVIDADE MÁXIMA $i_{máx}$ (%)
1,50 X 1,50	1,40
2,00 X 2,00	0,90
2,50 X 2,50	0,70
3,00 X 3,00	0,50

1.1.1.4.2 Aspectos relacionados com a execução

A sequência natural de etapas executivas visando a implantação de bueiros capeados é a seguinte:

- sempre que possível o bueiro capeado deverá ser locado perpendicularmente ao eixo da rodovia. A conexão do talvegue às bocas do bueiro, nesses casos, poderá ser feita por corta-rios ou valas de condução;
- locação da obra de acordo com os elementos de projeto, com a colocação de piquetes a cada 5 metros. Pequenos ajustes de campo nos elementos de projeto, tais como: localização, esconsidade, declividade, cotas etc., poderão ocorrer nesta fase;
- execução das sapatas de concreto, para a fundação, de acordo com o projeto;
- preparo do leito de assentamento da laje inferior, através da abertura de valas ou execução de aterro. As valas deverão ser abertas com uma largura adicional de 1 metro para cada lado do bueiro.
- quando houver interferência entre o eixo do bueiro e o eixo do talvegue, deverá ser providenciado o desvio deste último através da execução de corta-rio.
- execução de formas, e concretagem do conjunto laje inferior do bueiro + calçada das bocas + vigas inferiores das bocas + sapatas;

- g) execução de formas com respectivo escoramento e concretagem das paredes verticais do bueiro e alas das bocas;
- h) execução de formas com respectivo escoramento, montagem das armaduras e concretagem da laje superior e viga superior, esta última em concreto ciclópico;
- i) retirada dos escoramentos e das formas após o período de cura do concreto;
- j) execução do revestimento da laje de fundo do bueiro e da calçada das bocas com argamassa de cimento e areia, traço 1:3;
- k) execução do reaterro do corpo de bueiro com o material escavado ou material selecionado e compactação em camadas de, no máximo, 0,20m de espessura, com "sapos mecânicos" ou placas vibratórias, até 0,60m acima de laje superior do corpo do bueiro, salvo para as obras em que esteja previsto o tráfego direto sobre a laje.

1.1.1.4.3 Aspectos relacionados com o controle

Para assegurar a perfeita execução dos serviços, os seguintes aspectos devem ser observados:

- a) todo o material utilizado deve ser de boa qualidade e estar de acordo com as especificações;
- b) a laje de fundo deverá ser executada no mesmo nível da face superior das sapatas de apoio das paredes verticais. Para garantir esta condição, deverão ser abertas trincheiras ou executados reaterros entre as sapatas;
- c) deverão ser concretadas simultaneamente e nesta sequência, as seguintes partes dos bueiros capeados:
 - c.1) laje inferior + calçadas e sapatas;
 - c.2) paredes verticais + alas;
 - c.3) laje superior.

- d) os concretos a serem utilizados nos bueiros capeados são os seguintes:
- d.1) concreto ciclópico de $f_{ck} \geq 20$ Mpa, com até 30% em volume de pedra de mão laje inferior (inclusive viga inferior), calçadas, sapatas, paredes verticais, alas e viga superior;
 - d.2) concreto armado de $f_{ck} \geq 20$ MPa - laje superior.
- e) durante as operações de reaterro, deve merecer atenção especial a compactação dos solos junto às paredes do bueiro. Esta operação deve ser feita inicialmente com soquetes manuais e complementada com placas vibratórias ou "sapos mecânicos". O reaterro deverá progredir simultaneamente nos dois lados, de modo a se evitar a criação de esforços diferenciais sobre as paredes verticais do bueiro;
- f) o tráfego de veículos e equipamentos sobre os bueiros capeados acabados só deve ser autorizado após a cura do concreto e a conclusão das operações de reaterro;
- g) o nível das calçadas das bocas de montante e de jusante do bueiro capeado deverá coincidir com o nível do terreno natural.

Deverão ser executadas juntas de dilatação a cada 25 m de corpo de bueiro capeado, apenas nas paredes externas e lajes superior e inferior. Os bueiros com comprimento entre 25 e 50 metros deverão levar uma junta de dilatação na extensão média da obra.

1.1.1.5 Bueiros flexíveis

Bueiros flexíveis são compostos por tubos plásticos de PVC (policloreto de vinila), PEAD (polietileno de alta densidade), PRFV (polímero revestido com fibra de vidro).

Os tubos plásticos são menos divulgados e utilizados do que os de concreto. Porém, possuem várias vantagens em relação aos tubos de concreto, tais como leveza, desempenho hidráulico, fácil manuseio e aplicação, assim como menor número de juntas. Sem contar no menor número de equipamentos, insumos e mão de obra no canteiro.

Os tubos e as conexões possuem a superfície interna lisa e possuem a superfície externa não lisa, classificados como do tipo “B” pela norma ABNT-NBR 21.138 (Sistemas de tubulações plásticas para drenagem e esgotos subterrâneos não pressurizados – Sistema de tubos com paredes estruturadas de policloreto de vinila não plastificado – PVC-U, polipropileno – PP e polietileno PE)

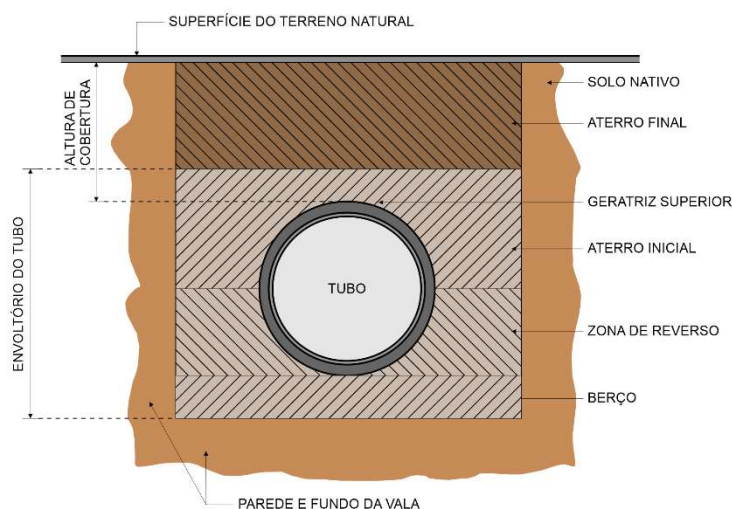
As superfícies dos tubos, interna e externa, devem apresentar-se com cor e aspecto uniformes e serem isentas de corpos estranhos, bolhas, fraturas do fundido, rachaduras ou outros defeitos visuais que indiquem descontinuidade do composto que comprometa o desempenho e a durabilidade do tubo.

O interior do tubo deve ser submetido a um exame visual para conferir a distribuição homogênea da massa do composto ao longo da parede. Regiões que apresentam translucidez diferenciada são indicativas de anormalidade no processo de fabricação, devendo obrigatoriamente este tubo ser selecionado para posterior exame dimensional, de acordo com a norma referenciada.

1.1.1.5.1 Execução

A Figura 17, na sequência, ilustra os elementos construtivos de um bueiro tubular flexível.

Figura 17 – Elementos construtivos de um tubo flexível



Fonte: Kanaflex, 2017.

As definições de elementos construtivos, são apresentadas a seguir:

- a) largura mínima do solo da envoltória: $L = DEB + 2C$, sendo DEB o diâmetro externo da bolsa e C a largura necessária para a operação do equipamento compactador;
- b) solo nativo: solo do aterro ou solo natural quando o bueiro for implantado numa vala;
- c) aterro final: solo do aterro compactado com a energia do Proctor Normal ou outra energia indicada no projeto;
- d) camada de cobertura: feita com material da envoltória – espessura mínima = 15cm.

1.1.1.5.2 Sequência executiva

As etapas construtivas são as seguintes:

- a) locação topográfica do bueiro, obedecendo a nota de serviço do projeto. Marcação das profundidades dos cortes e das alturas dos aterros para regularizar o terreno deixando-o nas cotas do fundo do berço. Os elementos de projeto (estaca do eixo, esconsidade, comprimento e cotas) poderão sofrer pequenos ajustamentos de campo. A declividade longitudinal do bueiro deverá ser contínua;
- b) após a regularização do terreno, execução do berço com o material selecionado da envoltória;
- c) assentamento dos tubos de PEAD e execução da zona de reverso e do aterro inicial utilizando o material selecionado da envoltória. Esforço extra será necessário para a colocação e compactação do reaterro na zona de reverso;
- d) execução da camada de cobertura, seguida da execução do aterro final;
- e) o solo da envoltória do bueiro é colocado na umidade ótima de compactação numa praça de trabalho para em seguida ser levado ao local da envoltória pronto para ser compactado;

- f) execução das bocas de montante e de jusante. Caso a boca de montante seja uma caixa coletora de águas de sarjeta, deverão ser atendidos os procedimentos executivos e as especificações correspondentes a este dispositivo;
- g) terminada a execução do bueiro deverão ser verificadas as condições de captação de montante e de deságue de jusante para se executar as escavações e as obras complementares necessárias para não haver assoreamentos e erosões.

1.2 Pontes

Para transpor cursos de água mais volumosos ou talvegues grandes e com características específicas, torna-se necessário construir pontes ou viadutos de vários tipos e características que, em termos rodoviários se denominam “Obras de Arte Especiais”. Em termos gerais, se englobam em Obras de Arte Especiais todas as estruturas que, pelas suas proporções, requerem estudos e projetos executivos específicos, tais como pontes, viadutos e túneis, necessárias à plena implantação de uma infraestrutura viária.

Nas rodovias expressas, de muito tráfego e em terreno mais acidentado, a opção por obras de arte especiais não tem só a ver com as necessidades de atravessar um rio ou um grande talvegue, mas pode ser adotada por aspectos econômicos/operacionais e para evitar grandes pendentes nos perfis longitudinais, usando-se então uma infraestrutura rodoviária constituída por segmentos específicos construídos por uma sequência de viadutos e túneis.

Pelo peso do seu custo em relação ao custo total da rodovia onde elas se encaixam, as Obras de Arte Especiais são normalmente dimensionadas para um período mais longo do que a própria rodovia, a qual terá uma maior facilidade em receber melhorias grandes no seu pavimento ou até nas suas características geométricas, tais como faixas de rodagem específicas para veículos pesados e até mesmo algumas correções geométricas.

As malhas rodoviárias federais e estaduais, implantadas a partir da década de 40 do século passado, época em que também foram editadas as primeiras Normas Brasileiras referentes

ao cálculo e execução de estruturas de concreto armado, abrangem obras com diferentes geometrias transversais, calculadas para solicitações provocadas por diferentes cargas e dimensionadas e detalhadas segundo critérios vigentes nas épocas em que seus projetos foram elaborados, muitos dos quais não satisfazem a legislação atualmente vigente. Desde a sua implantação até a presente data, algumas pontes foram substituídas, muitas foram restauradas e algumas foram reforçadas e alargadas, tornando o perfil e as características das pontes atualmente em serviço, numa boa parte das rodovias, bastante heterogêneo e, em alguns casos, bem perigoso para a segurança viária.

De uma forma geral, as infraestruturas rodoviárias que envolvem a necessidade de pontes para a travessia de rios e talwegues, terão estudos específicos para essas estruturas, os quais estão abrangidos neste Manual no seu TOMO IV – OBRAS DE ARTE ESPECIAIS.

Neste TOMO II – DRENAGEM serão apenas descritas informações básicas sobre a constituição de uma Ponte.

1.2.1 Principais elementos componentes das pontes

A maioria das pontes tem três componentes básicos: Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura, cujas características são desenvolvidas a seguir.

1.2.1.1 Superestrutura

A superestrutura é o componente superior da ponte, constituída do estrado e dos elementos que suportam o estrado e todas as cargas nele aplicadas.

A função estrutural da superestrutura é a de transmitir as cargas, ao longo dos vãos, para os apoios.

O estrado é o elemento da ponte onde a carga móvel atua diretamente, devendo ser capaz de permitir um tráfego seguro e fluente.

Usualmente, o estrado é composto por lajes e um sistema estrutural secundário.

Três materiais podem ser utilizados na construção dos estrados de pontes: a madeira, o concreto e o aço.

A função estrutural do estrado é a de transferir as cargas permanente e móvel, a outros componentes da obra.

A função estrutural dos elementos que suportam o estrado é a de transmitir as cargas do estrado, ao longo dos vãos, para os apoios.

Esses elementos, constituídos de vigas e longarinas, são caracterizados pelo modo como transmitem as cargas aos apoios: por compressão, por tração, por flexão ou pela combinação dessas solicitações.

1.2.2.2 Mesoestrutura

A mesoestrutura da ponte é o componente que engloba todos os elementos que suportam a superestrutura. A função da mesoestrutura é a de transmitir as cargas da superestrutura, e a sua própria carga, à infraestrutura, constituída das fundações, diretas ou profundas.

Os elementos da mesoestrutura funcionam como peças carregadas axialmente, com capacidade de absorver solicitações horizontais, que provocam momentos fletores.

Há três elementos básicos nas mesoestruturas: encontros, blocos e pilares. Os encontros, se existentes, são os elementos que suportam as extremidades das pontes, ao mesmo tempo em que arrimam os acessos rodoviários; os pilares, isolados, maciços ou aporticados, são os apoios intermediários.

Por razões econômicas, no Brasil, somente as obras mais importantes têm encontros; na grande maioria das obras, os encontros são substituídos por superestruturas com extremos em balanço e aterros em queda livre, às vezes mal compactados e sem as proteções

adequadas; o funcionamento deste conjunto heterogêneo, aterro/obra-de-arte, embora modernamente melhorado com a utilização de lajes de transição, é sempre deficiente: há assentamentos dos aterros de acesso, com os consequentes choques dos veículos na entrada das pontes.

1.2.2.3 Infraestrutura

A infraestrutura é o componente que assenta todo o peso da estrutura e a ação das cargas móveis no terreno natural. As fundações podem ser diretas ou profundas.

Assim, tem-se as fundações diretas compostas das sapatas.

As fundações podem ser ainda em tubulão – a céu aberto ou a ar comprimido – e em estacas, podendo ser de madeira, metálicas ou de concreto.

1.2.2 Tipos Básico de Pontes

Em função do modo como se transmite as cargas aos apoios, as pontes podem ser agrupadas em três tipos básicos:

- a) **pontes em viga**: quando transmitem as cargas aos apoios através de solicitações verticais de compressão; podem ser:
 - a.1) pontes em laje, de concreto armado ou protendido;
 - a.2) pontes em viga, de madeira, de concreto ou de aço;
 - a.3) pontes em caixão, de concreto ou de aço;
 - a.4) pontes em treliça, de madeira ou de aço.

- b) **pontes em arco**: quando transmitem as cargas através de solicitações inclinadas, de compressão; podem ser construídas em madeira, em concreto ou em aço. As solicitações nos arcos são, inteira ou predominantemente, de compressão;

- c) **pontes pênséis e pontes estaiadas:** as solicitações de tração dos cabos de suspensão são transmitidas às ancoragens na infraestrutura, depois de provocar solicitações de compressão nas torres intermediárias.

Esta matéria sobre pontes, viadutos e túneis está devidamente tratada com todos os detalhes necessários no Manual de Execução de Serviços Rodoviários - Tomo IV – Obras de Arte Especiais e nas Especificações de Serviço pertinentes.

2 DRENAGEM DE PROTEÇÃO DA RODOVIA

O efeito da água numa rodovia só tem aspectos negativos:

- a) na parte operacional, lâminas de água no pavimento podem causar acidentes por aquaplanagem e dificultar a visibilidade dos motoristas pelos respingos dos pneus dos outros veículos;
- b) o escoamento superficial da água nas encostas, não só pode erodir os taludes, como chegar ao pavimento se não for interceptada antes; e
- c) a água subterrânea pode subir por capilaridade para os níveis superiores dos aterros e afetar a capacidade de suporte do pavimento.

Portanto, o objetivo da drenagem de proteção da rodovia consiste na construção de diversos dispositivos que possam evitar que as águas superficiais danifiquem os taludes da rodovia, os dispositivos que promovem a evacuação tão rápida quanto possível das águas da chuva no pavimento e os dispositivos que impeçam a subida das águas subterrâneas nas camadas mais altas dos aterros.

2.1 Drenagem superficial

Em uma estrada, a água superficial, que é a fração que resta de uma chuva após serem deduzidas as perdas por evaporação e por infiltração, pode surgir descendo as encostas ou taludes, ou escoando sobre a pista de rolamento.

As águas superficiais que descem as encostas num corte de estrada irão rolar sobre o talude, erodindo-o e, além de poder vir a comprometer a estabilidade do maciço, carregam o material de erosão para a pista, o que, em conjunto com a água, pode dificultar ou impedir o tráfego normal dos veículos.

Assim é que o acúmulo de água que se escoia sobre a pista de rolamento, dependendo da espessura da lâmina de água que se forma, pode vir a comprometer seriamente as

condições de aderência da pista, acarretando graves acidentes, com a derrapagem e a aquaplanagem.

A erosão nas valetas junto ao pé do corte pode atingir a estrutura do pavimento, daí o emprego de revestimento nessas valetas.

De outra parte, se a água da chuva penetra na base e nela se acumula, os efeitos destrutivos, pelas pressões hidráulicas que as cargas pesadas dos caminhões transmitem, podem ocasionar a ruína completa de um pavimento, ainda que corretamente projetado.

A drenagem superficial deve evitar, assim, que essa água venha a danificar a plataforma e/ou alagar a plataforma estradal. Para tanto, são construídos adequados dispositivos que coletam a água e a removem, conduzindo-a para os canais naturais. No caso da chuva que cai diretamente sobre a pista de rolamento, as medidas a serem tomadas, e que evitam sua infiltração ou acumulação, consistem na adoção de declividades adequadas para a seção transversal, bem como na adoção de pavimento, cujo revestimento seja praticamente impermeável.

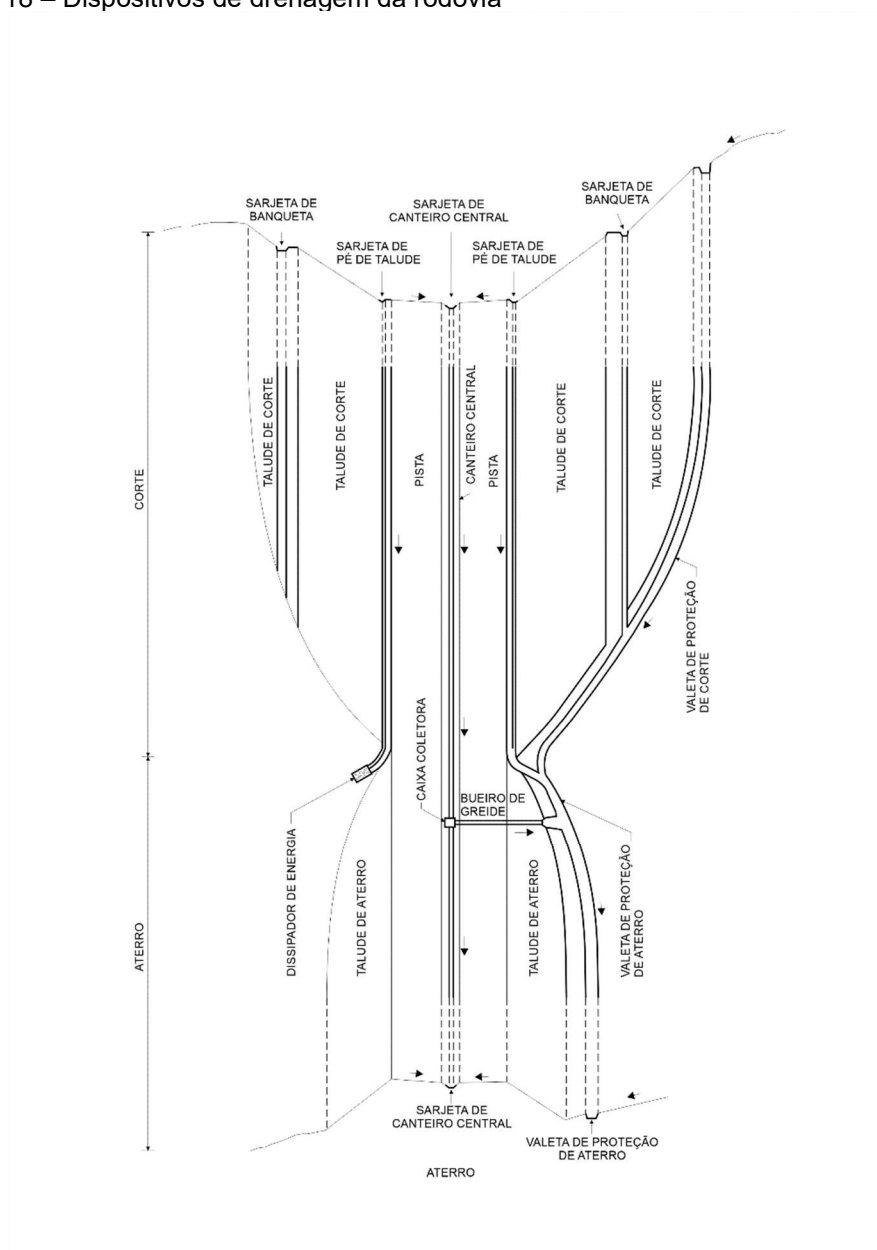
Para um sistema de drenagem superficial eficiente, utiliza-se uma série de dispositivos com objetivos específicos, a saber:

- a) valetas de proteção de corte;
- b) valetas de proteção de aterro;
- c) sarjeta de Pé de Talude de Corte;
- d) sarjetas de aterro;
- e) escalonamento de Talude e Sarjeta de Banqueta
- f) sarjeta de canteiro central;
- g) descidas d'água;
- h) saídas d'água;
- i) caixas coletoras;
- j) bueiros de greide;
- k) dissipadores de energia;

- l) bacias de Amortecimento;
- m) corta-rios.

Tendo em consideração o grande número de dispositivos utilizados nos sistemas de drenagem superficial das rodovias, apresenta-se a seguir uma figura mostrando a localização de alguns dos dispositivos o que evidencia de forma mais fácil a função de cada um deles.

Figura 18 – Dispositivos de drenagem da rodovia



Fonte: DER/PR, 1996.

Para cada dispositivo foram abordados os seus objetivos, características técnicas, aspectos particulares de cada dispositivo, sua localização e posicionamento,

Procurou-se ainda mostrar os tipos de seções e revestimentos mais utilizados e recomendados, e algumas especificações mais importantes para a construção, sugerindo se sempre a consulta às Especificações de Serviço do DER/PR.

Também se apresenta uma figura mostrando a constituição de cada um deles, mas esclarece-se que cada um dos dispositivos poderá ter várias formas consoante a sua função e localização. Nas figuras apresentadas como exemplo uma valeta é revestida com concreto, mas, como se referiu no texto, ela poderá também ter um revestimento vegetal ou ter um revestimento de alvenaria de tijolo ou pedra, ou ainda com pedra arrumada à mão.

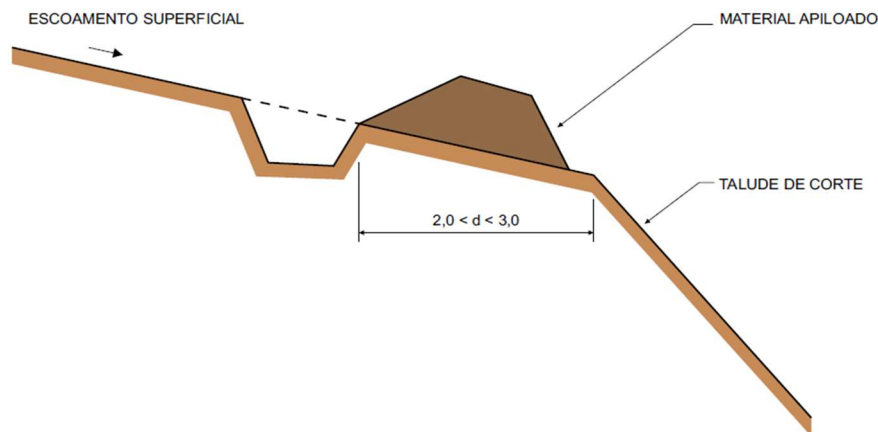
2.1.1 Valetas de proteção de corte

As valetas de proteção de cortes têm como objetivo interceptar as águas que escorrem pelo terreno natural a montante, impedindo-as de atingir o talude de corte.

As valetas de proteção devem ser construídas em todos os trechos em corte onde o escoamento superficial proveniente dos terrenos adjacentes possa atingir o talude, comprometendo a estabilidade do corpo estradal. Devem ser localizadas proximamente paralelas às cristas dos cortes, a uma distância entre 2,0 a 3,0 metros. O material resultante da escavação deve ser colocado entre a valeta e a crista do corte e apilado manualmente, conforme indicado na figura na sequência.

Na escolha do tipo de seção deve-se observar que as seções triangulares criam plano preferencial de escoamento de água, por isso são pouco recomendadas para grandes vazões. Por motivo de facilidade de execução, a seção a adotar nos cortes em rocha deverá ser retangular.

Figura 19 – Valeta de proteção de corte



Fonte: DER/PR, 1996.

As valetas com forma trapezoidal são mais recomendáveis por apresentarem maior eficiência hidráulica.

Os revestimentos da valeta de corte deverão ser escolhidos de acordo com a velocidade do escoamento e conforme a natureza do material do solo. Em princípio, convém sempre revestir as valetas, sendo isso obrigatório quando elas forem abertas em terreno permeável, para evitar que a infiltração provoque instabilidade no talude do corte. Atenção especial deve ser dada ao revestimento da valeta triangular, pois, pela própria forma da seção, há uma tendência mais acentuada à erosão e infiltração.

Os tipos de revestimentos mais recomendados são:

- a) concreto;
- b) alvenaria de tijolo ou pedra;
- c) pedra arrumada;
- d) vegetação.

Em caso de revestimento de concreto este deverá ter espessura mínima de 0,08 m. e resistência f_{ck} 15 Mpa para 28 dias. Quando do revestimento em pedra, esta deverá ser rejuntada com argamassa de cimento-areia no traço 1:4.

Quanto ao processo construtivo e demais especificações, devem ser obedecidas as Especificações de Serviço DER/PR.

Acontece na prática, não raro, a necessidade de retirada da água da valeta de proteção de corte para a sarjeta ou para a caixa coletora de um bueiro de greide, devido às seguintes particularidades:

- a) quando nos cortes muito extensos e de pequena declividade o comprimento crítico da valeta for atingido, o que obrigaria a construção de seção com grandes dimensões;
- b) quando o terreno a montante da valeta apresentar um talvegue secundário bem definido, ocasionando a concentração de água num único local;
- c) quando o perfil longitudinal da valeta se apresentar sinuoso com vários pontos baixos, obrigando, para que haja um escoamento contínuo, a grandes profundidades da valeta.

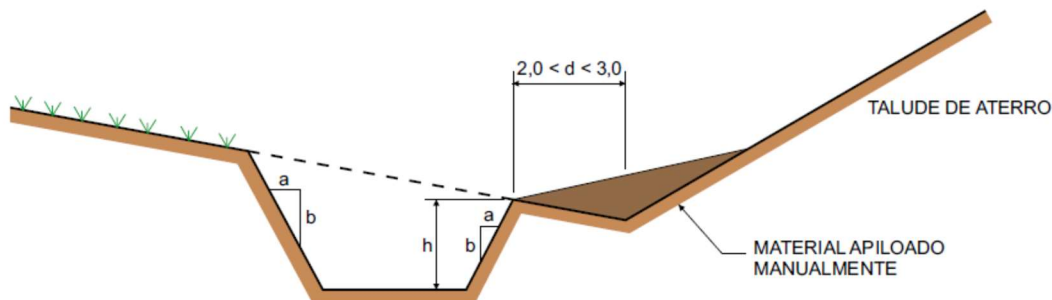
Nesses casos, o dispositivo de saída de água da valeta de proteção de corte para a plataforma é comumente denominado descida de água.

2.1.2 Valetas de Proteção de Aterro

As valetas de proteção de aterros têm como objetivo interceptar as águas que escoam pelo terreno a montante, impedindo-as de atingir o pé do talude de aterro. Além disso, têm a finalidade de receber as águas das sarjetas e valetas de corte, conduzindo as com segurança ao dispositivo de transposição de talvegues.

As valetas de proteção de aterro deverão estar localizadas, aproximadamente paralelas ao pé do talude de aterro a uma distância entre 2,0 e 3,0 metros. O material resultante da escavação deve ser colocado entre a valeta e o pé do talude de aterro, apiloado manualmente com o objetivo de suavizar a interseção das superfícies do talude e do terreno natural.

Figura 20 – Valeta de Proteção de Aterro



Fonte: DER/PR, 1996.

O revestimento da valeta de proteção de aterro deverá ser escolhido de acordo com a velocidade do escoamento, natureza do solo e fatores de ordem econômica e estética.

Os tipos de revestimento mais recomendados são:

- a) concreto;
- b) alvenaria de tijolo ou pedra;
- c) pedra arrumada;
- d) vegetação.

2.1.3 Sarjetas de pé de talude de corte

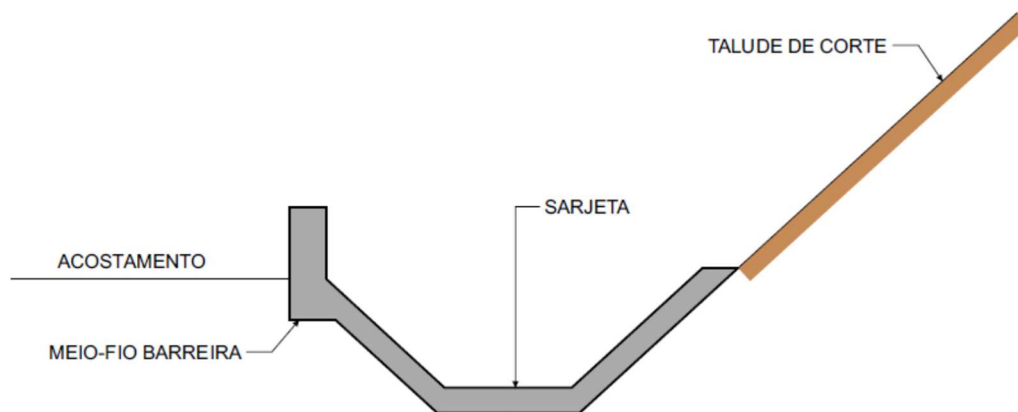
A sarjeta de pé de talude de corte tem como objetivo captar as águas que se precipitam sobre a plataforma e taludes de corte e conduzi-las, longitudinalmente à rodovia, até o ponto de transição entre o corte e o aterro, de forma a permitir a saída lateral para o terreno natural ou para a valeta de aterro, ou então, para a caixa coletora de um bueiro de greide.

As sarjetas de pé de talude de corte devem localizar-se em todos os cortes, sendo construídas à margem dos acostamentos, terminando em pontos de saída convenientes (pontos de passagem de corte para aterro ou caixas coletoras).

As sarjetas de pé de talude de corte podem ter diversos tipos de seção, dependendo da capacidade de vazão necessária.

- a) **sarjeta triangular** - A sarjeta triangular é um tipo bem aceito, pois, além de apresentar uma razoável capacidade de vazão, conta a seu favor com o importante fato da redução dos riscos de acidentes.
- b) **sarjeta trapezoidal** - Quando a sarjeta triangular de máximas dimensões permitidas for insuficiente para atender à descarga de projeto, deve-se adotar a sarjeta de seção trapezoidal, dotando-a de uma barreira tipo meio-fio, com a finalidade de proteger os veículos desgovernados que tendam a cair na mesma.

Figura 21 – Sarjeta de pé de talude de corte



Fonte: DER/PR, 1996.

2.1.4 Sarjetas de aterro

A sarjeta de aterro tem como objetivo captar as águas precipitadas sobre a plataforma, de modo a impedir que provoquem erosões na borda do acostamento e/ou no talude do aterro, conduzindo-as ao local de deságue seguro.

A indicação da sarjeta de aterro deve fundamentar-se nas seguintes situações:

- a) trechos onde a velocidade das águas provenientes da pista provoque erosão na borda da plataforma;
- b) trechos onde, em conjunto com a terraplenagem, for mais econômica a utilização da sarjeta, aumentando, com isso, a altura necessária para o primeiro escalonamento de aterro;

- c) interseções, para coletar e conduzir as águas provenientes dos ramos, ilhas etc.

A sarjeta de aterro posiciona-se na faixa da plataforma contígua ao acostamento.

A seção transversal deve seguir os projetos-tipos, podendo ser triangulares, trapezoidais, retangulares etc., de acordo com a natureza e a categoria da rodovia.

Sendo a sarjeta de aterro um dispositivo que pode comprometer a segurança do tráfego, cuidados especiais devem ser tomados quanto ao posicionamento e à seção transversal a ser utilizada, de modo a garantir a segurança dos veículos em circulação.

Um tipo de sarjeta de aterro muito usado atualmente nas rodovias federais, estaduais, interseções e trechos urbanos é o meio-fio-sarjeta conjugados.

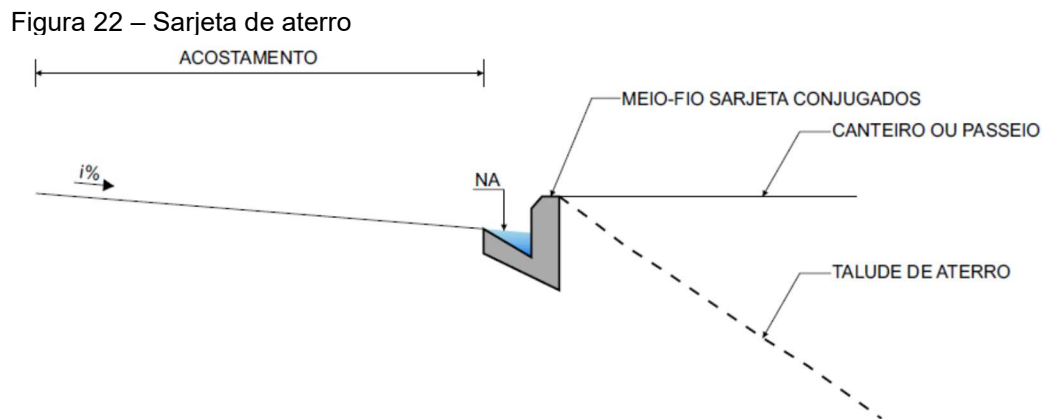
Em situações eventuais, no caso de ser possível considerar um alagamento temporário do acostamento, o tipo meio-fio simples também poderá ser usado.

Quanto ao revestimento, não há recomendações rígidas no tocante ao material a ser empregado na construção da sarjeta de aterro. Deve-se, todavia levar em conta a velocidade limite de erosão do material empregado, a classe da rodovia e os condicionantes econômicos.

Os materiais mais indicados para a construção do dispositivo são:

- a) concreto de cimento;
- b) concreto betuminoso;
- c) solo betume;
- d) solo cimento;
- e) solo.

Na execução da sarjeta de aterro de concreto de cimento deverão ser observadas as indicações próprias ao material, conforme exposto para sarjetas de corte.



Fonte: DER/PR, 1996.

Na execução das sarjetas de concreto betuminoso adota-se preferencialmente o traço usado para o binder, ou, quando este não está previsto, usa-se o próprio traço do revestimento de concreto betuminoso, por não se justificar estudo de composição especial para construção deste dispositivo, dependendo evidentemente da quantidade do serviço.

A execução das sarjetas de solo-betume ou solo-cimento deve obedecer às especificações particulares do projeto rodoviário, quando tais misturas estão indicadas também para outros serviços.

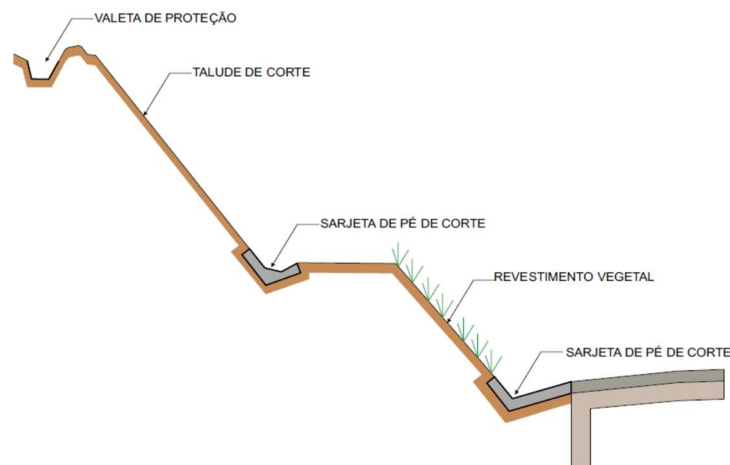
As sarjetas em solo são indicadas apenas para rodovias secundárias, de pequena importância econômica, ou durante período curto de utilização, podendo também ser construídas para funcionamento temporário durante o tempo de execução da rodovia.

2.1.5 Escalonamento de taludes e sarjetas de banquetas

O escalonamento de taludes tem como objetivo evitar que as águas precipitadas sobre a plataforma e sobre os taludes, atinjam, através do escoamento superficial, uma velocidade acima dos limites de erosão dos materiais que os compõe.

As banquetas neste caso são providas de dispositivos de captação das águas, sarjetas de banquetas (também denominadas sarjetas de pé-de-corte), que conduzirão as águas ao deságue seguro.

Figura 23 – Escalonamento de talude e sarjeta de pé-de-corte (banqueta)



Fonte: DER/PR, 1996.

2.1.6 Valeta do canteiro central

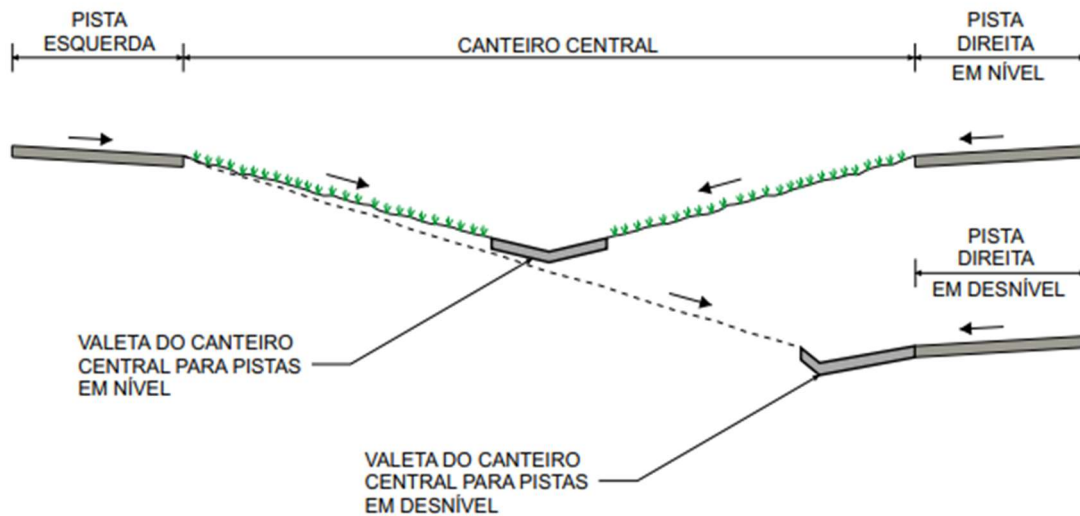
Quando uma rodovia for projetada em pista dupla, isto é, onde as pistas são separadas por um canteiro central côncavo, torna-se necessário drená-lo superficialmente através de um dispositivo chamado de valeta do canteiro central.

Esta valeta tem como objetivo captar as águas provenientes das pistas e do próprio canteiro central e conduzi-las longitudinalmente até serem captadas por caixas coletoras de bueiros de greide.

As seções transversais das valetas do canteiro central são em geral de forma triangular cujas faces têm as declividades coincidentes com os taludes do canteiro.

Podem ser usadas seções de forma circular, tipo meia cana, e formas trapezoidal ou retangular, quando ocorrer a insuficiência hidráulica das seções de forma triangular ou meia cana.

Figura 24 – Valeta do canteiro central



Fonte: DER/PR, 1996.

Quanto ao revestimento da valeta do canteiro central, deve-se levar em conta a velocidade limite de erosão do material empregado. O revestimento vegetal, apesar do excelente desempenho como função estética, tem o inconveniente do alto custo de conservação.

Valetas do canteiro central sem revestimento devem ser evitadas, a não ser em casos de canteiros muito largos e planos.

Na execução do revestimento das valetas do canteiro central devem ser obedecidas as Especificações de Serviço do DER/PR e demais recomendações feitas para a valeta de corte.

2.1.7 Descidas de água

As descidas d'água têm como objetivo conduzir as águas captadas por outros dispositivos de drenagem, pelos taludes de corte e aterro.

Tratando-se de cortes, as descidas d'água têm como objetivo principal conduzir as águas das valetas quando atingem seu comprimento crítico, ou de pequenos talvegues, desaguando numa caixa coletora ou na sarjeta de pé de corte.

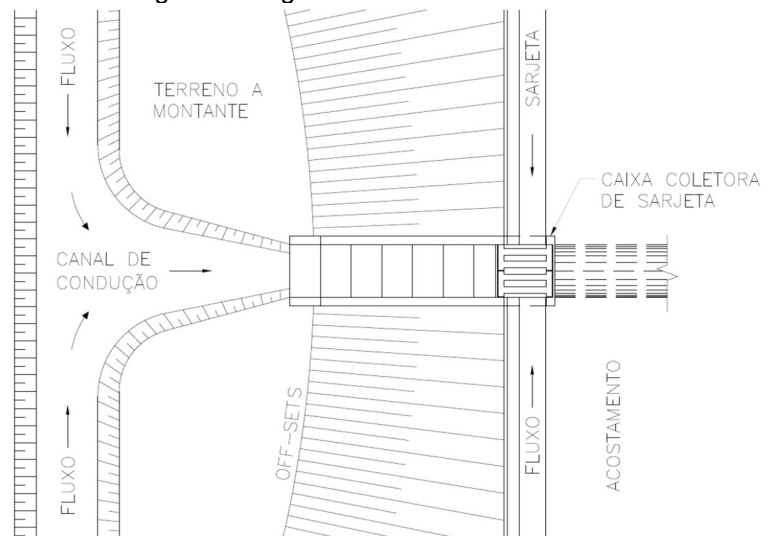
No aterro, as descidas d'água conduzem as águas provenientes das sarjetas de aterro quando é atingido seu comprimento crítico, e, nos pontos baixos, através das saídas d'água, desaguando no terreno natural.

As descidas d'água também atendem, no caso de cortes e aterros, às valetas de banquetas quando é atingido seu comprimento crítico e em pontos baixos.

Não raramente, devido à necessidade de saída de bueiros elevados desaguando no talude do aterro, as descidas d'água são necessárias visando conduzir o fluxo pelo talude até o terreno natural.

Posicionam-se sobre os taludes dos cortes e aterros seguindo as suas declividades e também na interseção do talude de aterro com o terreno natural nos pontos de passagem de corte-aterro.

Figura 25 – Descida de água em degraus



Fonte: DER/PR, 1996.

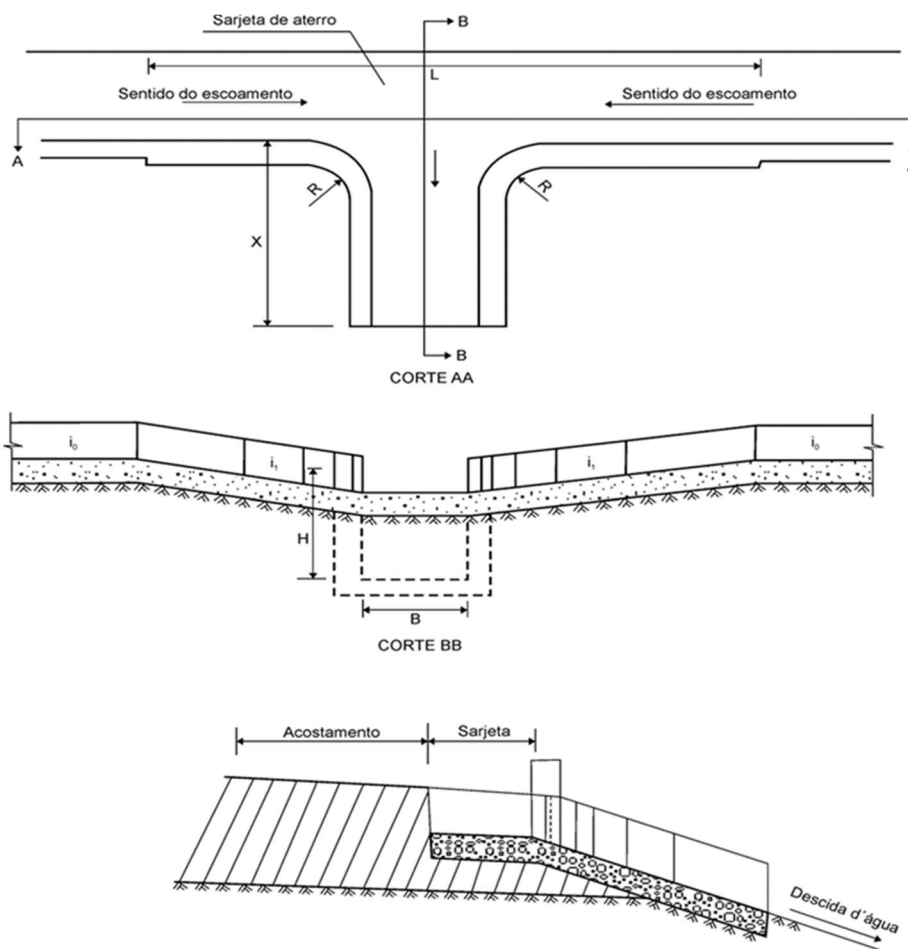
2.1.8 Saídas de água

As saídas de água, também denominados de entradas de água, são dispositivos destinados a conduzir as águas coletadas pelas sarjetas de aterro, lançando-as nas descidas de água. São, portanto, dispositivos de transição entre as sarjetas de aterro e as descidas de água.

Localizam-se na borda da plataforma, junto aos acostamentos ou em alargamentos próprios para sua execução, nos pontos onde é atingido o comprimento crítico da sarjeta, nos pontos baixos das curvas verticais côncavas, junto às pontes, pontilhões e viadutos e, algumas vezes, nos pontos de passagem de corte para aterro.

As saídas d'água devem ter uma seção tal que permita uma rápida captação das águas que escoam pela borda da plataforma conduzindo-as às descidas d'água.

Figura 26 – Saída de água



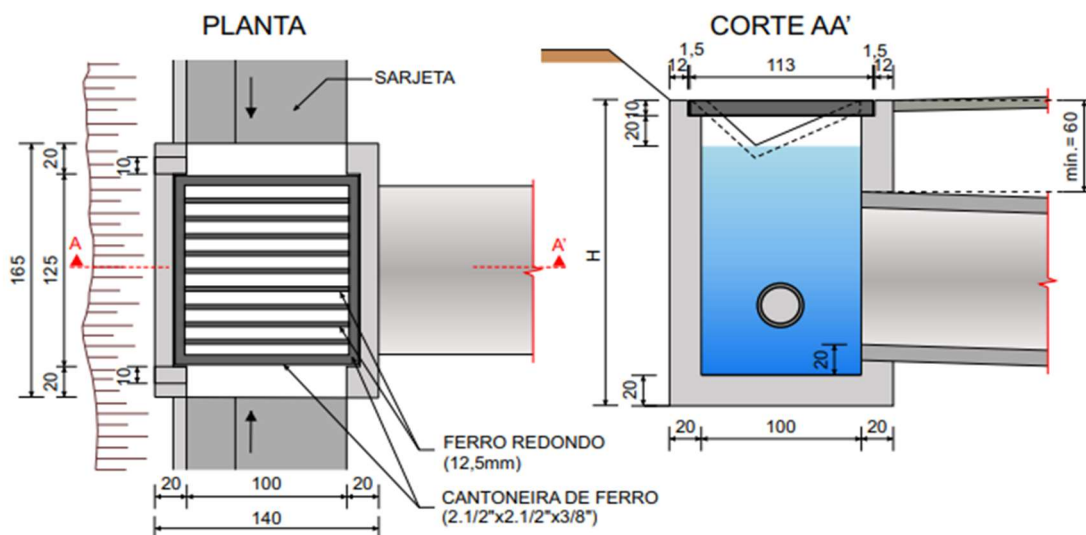
Fonte: DNIT, 2006.

2.1.9 Caixas coletoras

As caixas coletoras têm como objetivos principais:

- coletar as águas provenientes das sarjetas e que se destinam aos bueiros de greide;
- coletar as águas provenientes de áreas situadas a montante de bueiros de transposição de talvegues, permitindo sua construção abaixo do terreno natural;
- coletar as águas provenientes das descidas de água de cortes, conduzindo-as ao dispositivo de deságue seguro;
- permitir a inspeção dos condutos que por elas passam, com o objetivo de verificação de sua funcionalidade e eficiência;
- possibilitar mudanças de dimensão de bueiros, de sua declividade e direção, ou ainda quando a um mesmo local concorre mais de um bueiro.

Figura 27 – Caixa Coletora



Fonte: DER/PR, 1996.

As caixas coletoras, quanto à sua função, podem ser: caixas coletoras, caixas de inspeção ou caixas de passagem e, quanto ao fechamento, podem ser com tampa ou abertas.

As caixas coletoras localizam-se:

- a) nas extremidades dos comprimentos críticos das sarjetas de corte, conduzindo as águas para o bueiro de greide ou coletor longitudinal, que as levará para o deságue apropriado.
- b) nos pontos de passagem de cortes para aterros, coletando as águas das sarjetas de modo a conduzi-las para o bueiro, nos casos em que as águas ao atingir o terreno natural possam provocar erosões;
- c) nas extremidades das descidas d'água de corte, quando se torna necessária a condução das águas desses dispositivos para fora do corte sem a utilização das sarjetas;
- d) no terreno natural, junto ao pé do aterro, quando se deseja construir um bueiro de transposição de talwegues abaixo da cota do terreno, sendo, portanto, inaplicável a boca convencional;
- e) nos canteiros centrais das rodovias com pista dupla;
- f) em qualquer lugar onde se torne necessário captar as águas superficiais, transferindo-as para bueiros.

As caixas de passagem localizam-se:

- a) onde houver necessidade de mudanças de dimensão, declividade, direção ou cotas de instalação de um bueiro;
- b) nos lugares para os quais concorra mais de um bueiro.

As caixas de inspeção localizam-se:

- a) nos locais destinados a vistoriar os condutos construídos tendo em vista verificar sua eficiência hidráulica e seu estado de conservação; e
- b) nos trechos com drenos profundos com o objetivo de vistoriar seu funcionamento.

As caixas com tampa, em forma de grelha, são indicadas quando tem a finalidade coletora, sendo localizadas em pontos que possam afetar a segurança do tráfego ou se destinem a coletar águas contendo sólidos em volume apreciável e que possam obstruir os bueiros ou coletores.

As caixas com tampa removível são indicadas quando têm a finalidade de inspeção e de passagem.

As caixas abertas são indicadas quando têm finalidade coletora e localizam-se em pontos que não comprometam a segurança do tráfego.

A seção tipo das caixas coletoras deverá obedecer aos projetos tipos do DER/PR onde são indicadas as dimensões e detalhes das tampas.

Para a execução das caixas deverão ser seguidas as Especificações de Serviço DER/PR.

2.1.10 Bueiros de greide para escoamento das caixas coletoras

Os bueiros de greide são dispositivos destinados a conduzir para locais de deságue seguro as águas captadas pelas caixas coletoras.

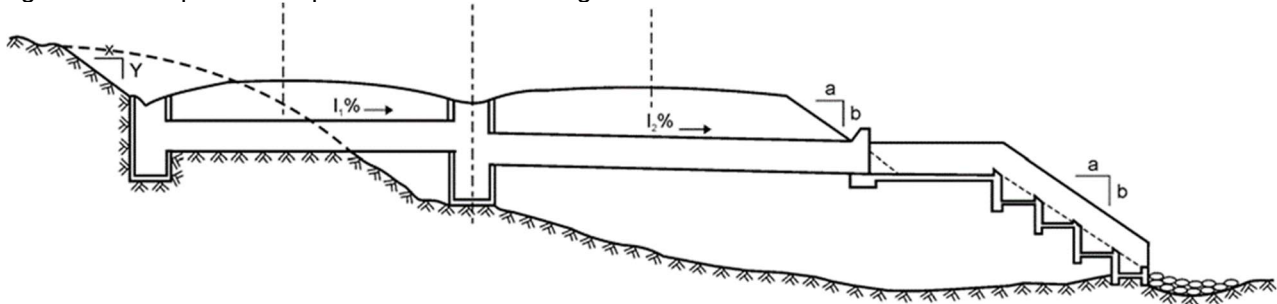
Localizam-se nos seguintes pontos:

- a) nas extremidades dos comprimentos críticos das sarjetas de corte em seção mista ou quando, em seção de corte for possível o lançamento da água coletada através de janela de corte. Nas seções em corte, quando não for possível o aumento da capacidade da sarjeta ou a utilização de abertura de janela no corte a jusante, projeta-se um bueiro de greide longitudinalmente à pista até o ponto de passagem de corte-aterro.
- b) nos pés das descidas d'água dos cortes, recebendo as águas das valetas de proteção de corte e/ou valetas de banquetas, captadas através de caixas coletoras.

- c) nos pontos de passagem de corte-aterro, evitando-se que as águas provenientes das sarjetas de corte desaguem no terreno natural com possibilidade de erodi-lo.
- d) nas rodovias de pista dupla, conduzindo ao deságue as águas coletadas dos dispositivos de drenagem do canteiro central.

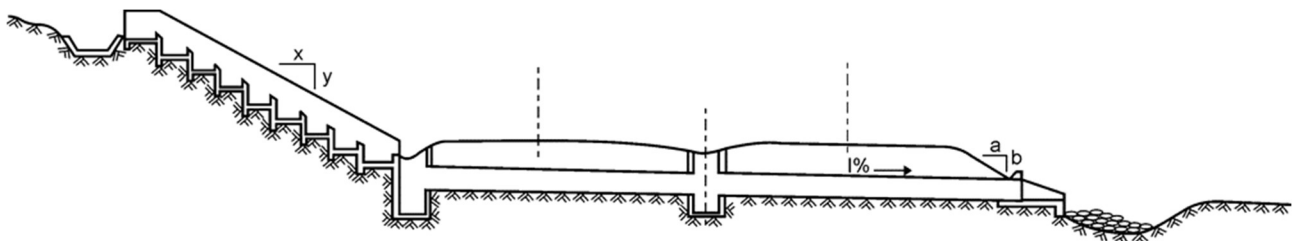
Os bueiros de greide podem ser implantados transversal ou longitudinalmente ao eixo da rodovia, com alturas de recobrimento atendendo à resistência de compressão estabelecida para as diversas classes de tubo pela NBR-8890 da ABNT.

Figura 28 – Esquema completo de um bueiro de greide em aterro



Fonte: DNIT, 2006.

Figura 29 – Esquema completo de um bueiro de greide em corte



Fonte: DNIT, 2006.

Os elementos constituintes de um bueiro de greide são:

- a) caixas coletoras;
- b) corpo;
- c) boca.

As caixas coletoras poderão ser construídas de um lado da pista, dos dois lados da pista e ainda no canteiro central. As caixas coletoras que atendem aos bueiros de greide, por estarem posicionadas próximo às pistas, são geralmente dotadas de tampa em forma de grelha.

O corpo do bueiro de greide é constituído em geral de tubos de concreto armado ou metálicos, obedecendo às mesmas considerações formuladas para os bueiros de transposição de talwegues.

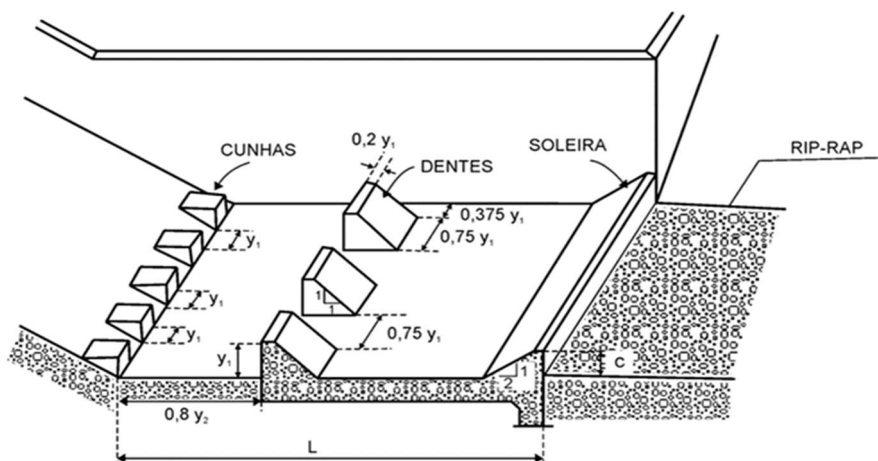
A boca será construída à jusante, ao nível do terreno ou no talude de aterro, sendo neste caso necessário construir uma descida d'água geralmente dotada de bacia de amortecimento.

Para a execução de bueiros de concreto devem ser seguidas as Especificações de Serviço do DER/PR.

2.1.11 Dissipadores de energia

Dissipadores de energia, como o nome indica, são dispositivos destinados a dissipar energia do fluxo de água, reduzindo conseqüentemente sua velocidade, quer no escoamento, através do dispositivo de drenagem, quer no deságue para o terreno natural.

Figura 30 – Esquema de um dissipador de energia



Fonte: DNIT, 2006.

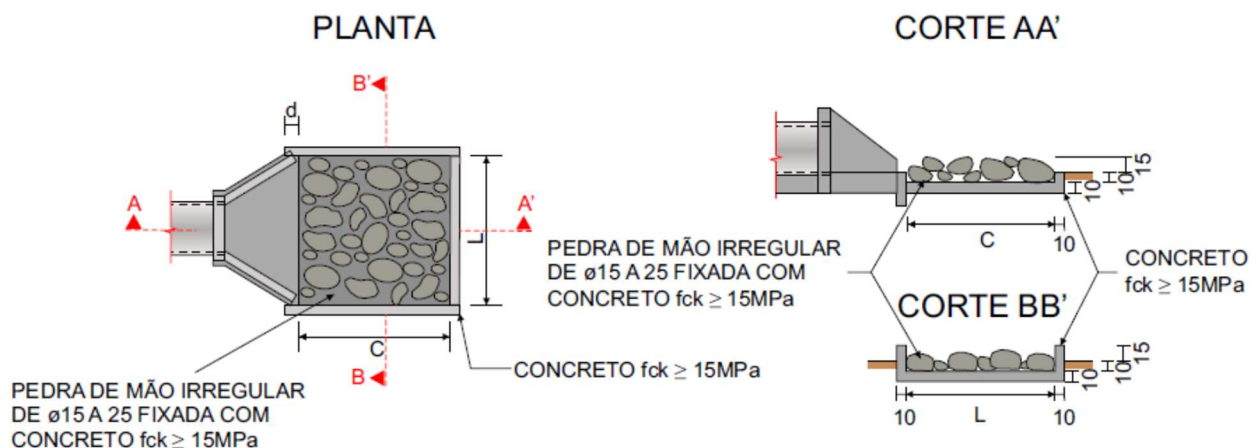
Os dissipadores de energia classificam-se em dois grupos:

- a) dissipadores localizados;
- b) dissipadores contínuos.

2.1.12 Bacias de amortecimento

As bacias de amortecimento, ou dissipadores localizados, são obras de drenagem destinadas, mediante a dissipação de energia, a diminuir a velocidade da água, quando esta passa de um dispositivo de drenagem superficial qualquer para o terreno natural, de modo a evitar o fenômeno da erosão.

Figura 31 – Bacias de amortecimento



Fonte: DER/PR, 2023.

As bacias de amortecimento devem ser instaladas, de um modo geral, nos seguintes locais:

- a) no pé das descidas de água nos aterros;
- b) na boca de jusante dos bueiros;
- c) na saída das sarjetas de corte, nos pontos de passagem de corte-aterro.

2.1.13 Corta-Rio

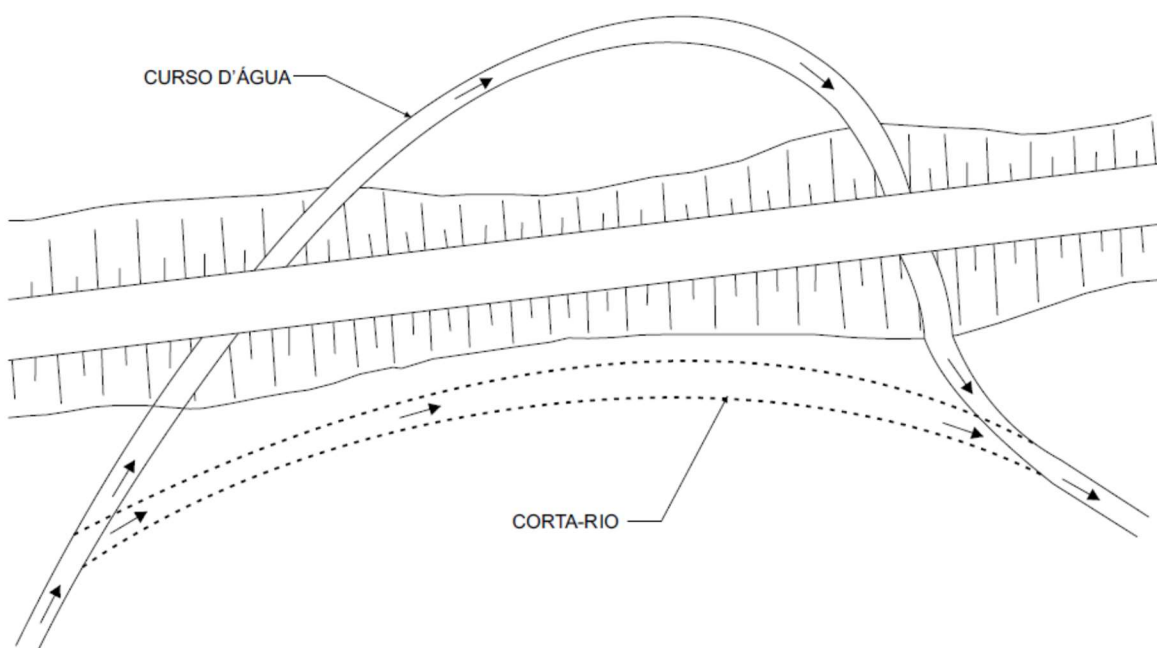
Os corta-rios são canais de desvio abertos com a finalidade de:

- a) evitar que um curso d'água existente interfira com a diretriz da rodovia, obrigando a construção de sucessivas obras de transposição de talvegues.
- b) afastar as águas que ao serpentear em torno da diretriz da estrada, coloquem em risco a estabilidade dos aterros.
- c) melhorar a diretriz da rodovia.

Os corta-rios podem ser definitivos ou provisórios. Os definitivos devem ser tratados com muito cuidado, devendo ser previamente analisados com referência às consequências socioambientais.

Os provisórios devem ser executados com a condição de que, após a execução da obra, o curso d'água retorne ao seu leito original, isto é, deve-se restaurar o leito à sua condição original.

Figura 32 – Corta-Rio



Fonte: DNIT, 2006.

2.2 Drenagem do Pavimento

O avanço da técnica da drenagem dos pavimentos tem sido grande nas últimas décadas e os técnicos vem reconhecendo cada vez mais a sua importância. De um modo geral, essa drenagem se faz necessária, no Brasil, nas regiões onde anualmente se verifica uma altura pluviométrica anual maior do que 1.500 milímetros e nas rodovias com um TMD \geq 500 veículos comerciais.

2.2.1 Objetivo e características

O objetivo dessa técnica é defender o pavimento das águas subsuperficiais que possam danificá-lo. Essas águas, de um modo geral, são de duas procedências: infiltrações diretas das precipitações pluviométricas e provenientes de lençóis d'água subterrâneos.

Os dispositivos usados são a base drenante e os drenos rasos longitudinais, não obstante sejam recomendados, no caso de baixos índices pluviométricos, os drenos transversais e os drenos laterais de base.

- a) **camada drenante** - é uma camada de material granular, com granulometria apropriada colocada logo abaixo do revestimento, seja ele asfáltico ou de concreto de cimento portland, com a finalidade de drenar as águas infiltradas para fora da pista de rolamento.
- b) **drenos rasos longitudinais** - são drenos que recebem as águas drenadas pela camada drenante, quando atingida sua capacidade de vazão, conduzindo-as para fora da faixa estradal.
- c) **drenos laterais de base** - são drenos que tem a função de recolher as águas que se infiltram na camada de base, sendo usualmente utilizados nas situações em que o material da base dos acostamentos apresenta baixa permeabilidade, encaminhando-as para fora da plataforma.
- d) **drenos transversais** - são os drenos posicionados transversalmente à pista de rolamento em toda a largura da plataforma, sendo, usualmente, indicada sua

localização nos pontos baixos das curvas côncavas, ou em outros locais onde se necessitar drenar as bases permeáveis.

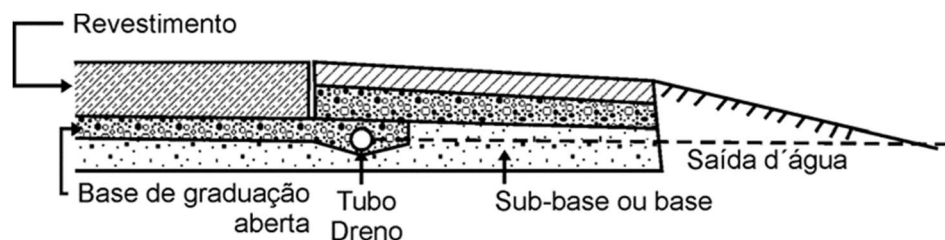
Será tratada neste capítulo a drenagem dos pavimentos devido às águas que, provenientes das precipitações pluviométricas, se infiltram no pavimento, tendo em vista que as águas oriundas dos lençóis subterrâneos são abordadas adiante neste Manual no item relativo à drenagem subterrânea ou profunda.

2.2.2 Camada drenante

As bases drenantes, como já foi dito, localizam-se entre o revestimento e a base e se estendem até os drenos rasos longitudinais ou às bordas livres.

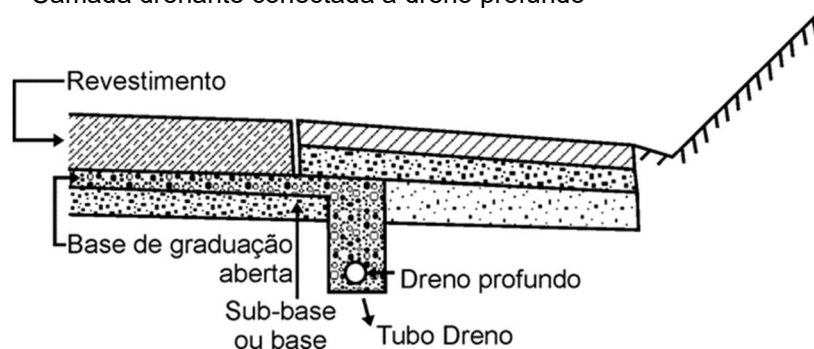
As figuras a seguir mostram a posição em que são colocadas, em relação aos demais elementos do pavimento, sendo que a segunda é utilizada nos casos em que é possível conectar com os drenos profundos, caso existentes.

Figura 33 – Camada drenante



Fonte: DNIT, 2006.

Figura 34 – Camada drenante conectada a dreno profundo



Fonte: DNIT, 2006.

Recomenda-se que as características dos agregados usados sejam controladas durante os trabalhos de construção, com amostras tiradas da própria camada drenante, depois de compactada, tanto para a granulometria como para a condutividade hidráulica, de vez que a compactação pode fazer variar o tamanho dos agregados e, conseqüentemente, influir na alteração das citadas características.

É recomendável, em certos casos, por motivos estruturais, misturar pequenas quantidades de asfalto na ordem de 2% aos agregados.

Observa-se neste caso que se verifica apenas um pequeno decréscimo da condutividade hidráulica, enquanto que a presença de materiais finos nos agregados reduz sobremodo sua condutividade hidráulica.

Materiais contendo porcentagem de silte e argila, mesmo reduzidas, quando compactadas nos limites necessários às exigências estruturais, poderão ter suas condutividades hidráulicas extremamente reduzidas.

Nos casos de subleitos argilosos, comuns no Brasil, há sempre necessidade de uma base de valor estrutural sob a base drenante, ou, pelo menos, uma sub-base, para proteger a base drenante da intrusão de materiais finos que possam obstruir os poros da camada drenante, provenientes do subleito.

Entre as camadas drenantes (bases e sub-bases) e entre as camadas drenantes e o subleito deve-se ter o cuidado, se as granulometrias não forem adequadas, de intercalar materiais que se constituam em filtro-separador para evitar sua mistura e comprometimento da capacidade drenante.

Entre os drenos rasos longitudinais, drenos laterais de base e drenos transversais, que envolvam contatos com seu material de enchimento e materiais de granulometrias diferentes, por exemplo: solo do subleito, deve-se ter o mesmo cuidado em se dispor de elementos filtros-separadores para evitar mistura, intrusão de finos e comprometimento da capacidade drenante.

Para os elementos filtros-separadores pode-se utilizar materiais granulares adequados ou materiais sintéticos (geotêxteis).

No caso dos geotêxteis, além dos cuidados normais para a sua escolha e dimensionamento como filtro-separador, quando instalados entre camadas estruturais sujeitas a carga de tráfego deve-se balizar sua escolha na resistência mecânica do tecido.

2.2.3 Drenos rasos longitudinais

2.2.3.1 Utilização

A função dos drenos rasos longitudinais, como foi dito anteriormente, é receber as águas drenadas pela base drenante, conduzindo-as longitudinalmente até o local de deságue.

Deverão ser construídos quando:

- a) não é técnica e economicamente aconselhável a extensão da camada drenante à toda largura da plataforma;
- b) não é possível, ou aconselhável, interconectar a camada drenante com drenos longitudinais profundos que se façam necessários ao projeto.

2.2.3.2 Localização

Os drenos longitudinais são localizados abaixo da face superior da camada drenante e de modo que possam receber todas as suas águas, como se observa na Figura “Camada drenante conectada a dreno profundo”.

2.2.3.3 Forma e dimensões

A forma do dreno longitudinal é a de um pentágono achatado ou de um retângulo, com a face superior localizada no prolongamento da face superior da base drenante.

As dimensões dos lados do pentágono devem guardar, aproximadamente, suas proporções e devem ser tais que impeçam o contato do tubo com os materiais de base e sub-base.

Quando forem aproveitados os drenos longitudinais profundos, estes devem ter também sua face superior no nível da face superior da base drenante.

2.2.3.4 Materiais usados

Os materiais usados terão, no mínimo, a mesma condutividade hidráulica da camada drenante.

2.2.4 Drenos transversais

2.2.4.1 Utilização

São drenos destinados a drenar as águas que atravessam as camadas do pavimento, ou suas interfaces, longitudinalmente.

Esse tipo de dreno assume importante desempenho no caso das restaurações de rodovias, onde houver, abaixo do revestimento, uma base drenante sem o necessário deságue.

2.2.4.2 Localização

Os drenos transversais do pavimento são indicados nos seguintes locais:

- a) em pontos baixos das curvas verticais côncavas;
- b) nos locais em que se deseje drenar águas acumuladas nas bases permeáveis, não drenadas por outros dispositivos (caso das restaurações);
- c) em aclives ou declives contínuos de grande extensão, onde a água que penetre no pavimento se acumule em demasia na camada drenante.

Nos casos de drenagem das bases drenantes (projetos de restauração) o dreno transversal também deve ser feito na largura dos acostamentos e de acordo com a técnica usada para os drenos laterais de base, excetuando-se os casos de curva côncava no perfil, onde os drenos deverão atravessar toda a largura da pista e acostamento.

2.2.4.3 Características

Os drenos transversais do pavimento são projetados e executados como drenos cegos, isto é, sem tubos, ou com tubos-dreno ranhurados ou perfurados.

O espaçamento entre drenos consecutivos deverá ser calculado tendo em vista sua vazão de projeto e a contribuição recebida resultante da infiltração verificada por metro quadrado.

2.2.4.4 Materiais

Os materiais usados nos drenos transversais, com tubos ou sem tubos, devem ter coeficientes de condutividade hidráulica maiores ou, pelo menos, iguais aos agregados das bases drenantes, no caso de pavimentos existentes ou camadas drenantes, no caso de projetos novos.

2.3 Drenagem subterrânea ou profunda

No que interessa à drenagem das estradas, as águas das chuvas têm dois destinos: parte escorre sobre a superfície dos solos e parte se infiltra, podendo formar lençóis subterrâneos.

É claro que estas situações não são únicas e distintas, havendo variação das condições em função das graduações que tornam os solos mais ou menos permeáveis ou impermeáveis, criando condições próprias para cada região, influenciadas pelo tipo de solo, topografia e clima.

Há ainda um terceiro aspecto pelo qual a água se apresenta: a "franja capilar", resultante da ascensão capilar a partir dos lençóis de água, obedecendo às leis da capilaridade. A influência produzida pela "franja capilar" deve ser eliminada, ou reduzida, pelos rebaixamentos dos referidos lençóis freáticos.

De um modo ou de outro, há sempre a necessidade indiscutível de manter-se o lençol freático a profundidades de 1,50 a 2,00 metros do subleito das rodovias, dependendo do tipo de solo da área considerada.

Quando a água escoar superficialmente, as situações são tratadas nos capítulos referentes à Drenagem para Transposição de Talvegues e à Drenagem Superficial.

No presente capítulo, indicam-se os recursos selecionados ao longo dos anos para resolver os problemas causados pela água de infiltração, por meio dos seguintes dispositivos:

- a) drenos profundos;
- b) drenos espinha de peixe;
- c) colchão drenante;
- d) valetões laterais;
- e) drenos verticais.

A solução dos problemas de drenagem subterrânea exige:

- a) conhecimento da topografia da área;
- b) observações geológicas e pedológicas necessárias, com obtenção de amostras dos solos por meio de sondagens a trado, percussão, rotativa e em certos casos, por abertura de poços a pá e picareta;
- c) conhecimento da pluviometria da região, por intermédio dos recursos que oferece a hidrologia.

2.3.1 Drenos profundos

2.3.1.1 Objetivo

Os drenos profundos têm por objetivo principal interceptar o fluxo da água subterrânea através do rebaixamento do lençol freático, impedindo-o de atingir o subleito.

2.3.1.2 Localização

Os drenos profundos devem ser instalados nos locais onde haja necessidade de interceptar e rebaixar o lençol freático, geralmente nas proximidades dos acostamentos, em profundidades da ordem de 1,50 a 2,00m, tendo por finalidade captar e aliviar o lençol freático e, conseqüentemente, proteger o corpo estradal.

Nos trechos em corte, recomenda-se que sejam instalados, no mínimo, a 1,50m do pé dos taludes, para evitar futuros problemas de instabilidade.

Podem, também, ser instalados sob os aterros, quando ocorrer a possibilidade de aparecimento de água livre, bem como quando forem encontradas camadas permeáveis sobrepostas a outras impermeáveis, mesmo sem a presença de água na ocasião da pesquisa do lençol freático.

Devem ser instalados nos trechos em corte, nos terrenos planos que apresentem lençol freático próximo à superfície do terreno natural, bem como nas áreas eventualmente saturadas próximas ao pé dos taludes.

2.3.1.3 Materiais

Os materiais empregados nos drenos profundos diferenciam-se de acordo com as suas funções, a saber:

- a) materiais filtrantes: areia, agregados britados, geotêxtil etc.

- b) materiais drenantes: britas, cascalho grosso lavado etc.
- c) materiais condutores: tubos de concreto (porosos ou perfurados), cerâmicos (perfurados), de fibrocimento, de materiais plásticos (corrugados, flexíveis perfurados, ranhurados) e metálicos.

Há casos em que não são colocados tubos no interior dos drenos. Nestes casos eles são chamados de "drenos cegos".

2.3.1.4 Constituição

Os drenos profundos são constituídos por vala, materiais drenante e filtrante, podendo apresentar tubos-dreno, juntas, caixas de inspeção e estruturas de deságue.

No caso de drenos com tubos podem ser utilizados envoltórios drenantes ou filtrantes constituídos de materiais naturais ou sintéticos.

2.3.1.4.1 Valas

As valas, abertas manual ou mecanicamente, devem ter no fundo a largura mínima de 50cm e de boca a largura do fundo mais 10cm.

Sua altura vai depender da profundidade do lençol freático podendo chegar a 1,50m, ou no máximo 2,00m.

2.3.1.4.2 Material de enchimento

O material de enchimento da vala pode ser filtrante ou drenante.

A função do material filtrante é a de permitir o escoamento da água sem carrear finos e consequentemente evitar a colmatação do dreno.

Poderão ser utilizados materiais naturais com granulometria apropriada ou geotêxteis.

A função do material drenante é a de captar e ao mesmo tempo conduzir as águas a serem drenadas, devendo apresentar uma granulometria adequada à vazão escoada.

Há casos em que, com o uso de tubos, pode-se utilizar apenas o material drenante, com a finalidade de aumentar o raio hidráulico na interface solo-envelope, direcionando o fluxo da água do solo para o tubo, com a função de captação ou de envoltório, pois, à medida que se aumenta o raio hidráulico do dreno, reduz-se a possibilidade de arraste de finos do solo, reduzindo a colmatação.

2.3.1.4.3 Tubos

Devem ser constituídos por tubos de concreto, de cerâmica, de plástico rígido ou flexível corrugado (PVC, PEAD ou PRFV), e metálicos.

Os diâmetros dos tubos comerciais variam de 10 a 25 cm. Na medida da necessidade, poderão ser perfurados, no canteiro de obras, tubos de diâmetros maiores.

Os tubos de concreto podem conter furos com diâmetros variando de 6 a 10 mm, sendo que nos tubos de materiais plásticos flexíveis corrugados são utilizadas ranhuras de 0,6 a 10 mm.

Os tubos deverão ser instalados com os furos voltados para cima, em casos especiais de terrenos altamente porosos ou rochas com fendas amplas.

A posição dos furos, voltados para cima, exige que se encha a base da vala do dreno com material impermeável até a altura dos furos iniciais e na outra condição deve-se colocar filtro como material de proteção no fundo da vala.

No caso de tubos plásticos corrugados flexíveis, por disporem de orifícios em todo o perímetro, não há necessidade de direcionar as aberturas de entrada de água.

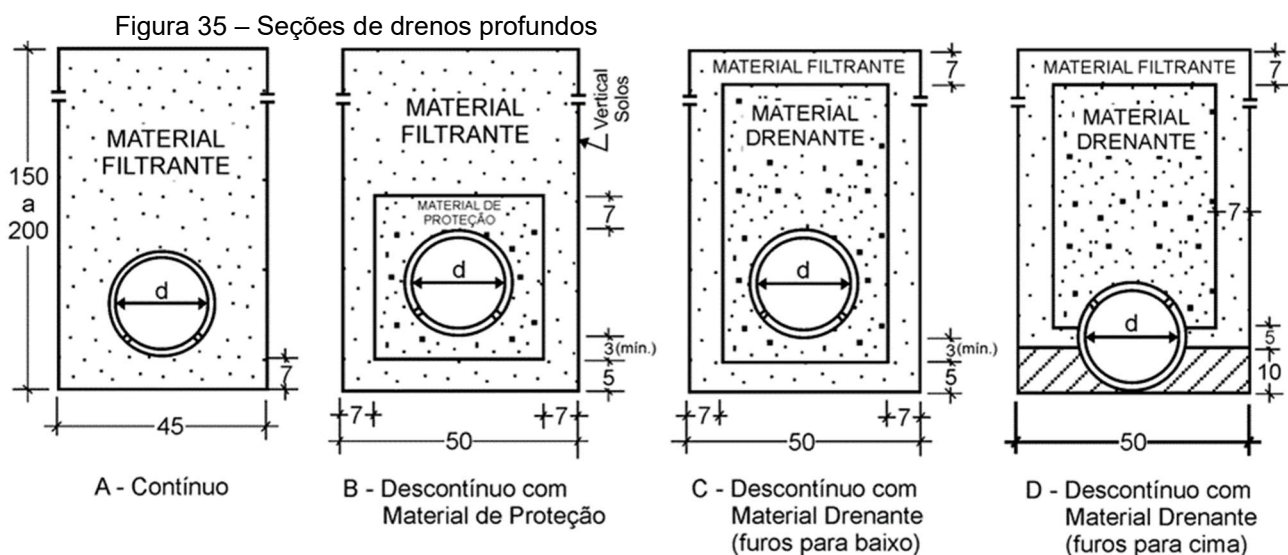
As águas subterrâneas são aquelas que se encontram no subsolo e podem existir sob a forma de lençol freático, *piping* ou acumuladas em fendas de rochas.

Quando, no preparo do subleito de uma estrada, corta-se uma camada na qual percola um lençol freático não é adequado executar o pavimento sem que se execute uma camada drenante ou se instalem drenos subterrâneos longitudinais, de modo a interceptar e remover o fluxo de água do subsolo.

- a) uso de dreno contínuo - vala enchida unicamente com material filtrante – são as seguintes as recomendações:
 - a.1) o material filtrante deve satisfazer a todas as exigências anteriormente listadas;
 - a.2) assegurar, nos cortes em rocha, a não intrusão de finos no material filtrante.
- b) uso do dreno descontínuo com material de proteção: enchimento da vala com material filtrante e com um material de proteção envolvendo o tubo, nos casos em que o material filtrante não satisfizer, unicamente, à condição de não entupimento dos furos do tubo.
- c) uso do dreno descontínuo com furos dos tubos voltados para baixo: vala enchida com material drenante protegido em toda a altura da vala pelo material filtrante, com furos dos tubos voltados para baixo:
 - c.1) quando houver excepcional quantidade de água no corte;
 - c.2) no caso em que o valor do diâmetro da porcentagem de 15% (passando) do material filtrante, obtido pelo cálculo da exigência de "permeabilidade", for maior do que o valor do diâmetro de 15% (passando) do mesmo material, obtido pelo cálculo da exigência de não entupimento do material filtrante;
 - c.3) nos cortes em rocha quando houver a possibilidade de intrusão de finos no material drenante de enchimento.

- d) uso de dreno descontínuo com furos dos tubos voltados para cima: vala cheia com material drenante protegido por material filtrante em toda altura da vala com furos do tubo voltados para cima, nos casos de terrenos altamente porosos, ou, em rocha, com fendas amplas.

Pode-se utilizar tubos plásticos com furos distribuídos ao longo de sua parede. No caso do material envolvente deve-se seguir os critérios de estabilidade utilizados para drenagem subterrânea deste manual para evitar excesso de finos dentro do tubo.



Fonte: DNIT, 2006.

Para escolha do filtro, no caso de materiais naturais, determina-se, face às características dos solos dos cortes em estudo, curvas granulométricas que limitem faixas, nas jazidas encontradas, satisfazendo às exigências do processo de Terzaghi para projetos de filtros de drenos.

Quando a jazida não atende às exigências, tenta-se a mistura com dois materiais de granulometria diversas.

2.3.1.4.4 Envelopamento

Define-se envelope como todo material colocado entre o tubo de um dreno e o solo, com a finalidade de proporcionar uma redução do gradiente hidráulico nas proximidades do tubo com a conseqüente redução da velocidade do fluxo nos poros do solo.

Essa redução de velocidade faz com que o carreamento de partículas para o interior do tubo seja pequeno ou praticamente nulo.

O envelope deve ter a função de permitir, pela sua permeabilidade, o movimento da água do solo para o dreno. Um envelope convenientemente selecionado impede que haja a liberação de partículas do solo e o conseqüente carreamento delas para o tubo.

- a) materiais de envelope: como envelope pode ser utilizado cascalho, brita ou areia grossa lavada, livre de matéria orgânica, argila ou outro material que possa alterar sua condutividade hidráulica com o tempo. O envelope também pode se constituir diretamente de material sintético (geotêxtil) ou orgânico natural (fibra de coco, palha etc.).

A seleção do tipo de envelope depende de vários fatores, tais como, disponibilidade de material apropriado, condições climáticas e tipos de solos. É importante considerar as condições climáticas quando se pretende empregar envelope orgânico, que em regiões tropicais, se deteriora facilmente.

- b) granulometria de material natural para envelope: o material deve apresentar uma granulometria com 100% passando na peneira de 1 1/2" polegadas e no máximo 5 % passando na peneira nº 50, segundo as recomendações do *Bureau of Reclamation*. Face à dificuldade de se encontrar material natural que atenda a estas características, o material deverá ser produzido mecanicamente.

Quadro 3 – Limites de graduação para envelopes (diâmetro das partículas em mm)

Material Ocorrente Diâmetro em mm correspondente a 60% passando		Limites inferiores % passando						Limites superiores % passando					
		100	60	30	10	5	0	100	60	30	10	5	0
0,02	0,05	9,52	2,0	0,81	0,33	0,3	0,074	38,1	10,0	8,7	2,5	-	0,59
0,05	0,10	9,52	3,0	1,07	0,38	0,3	0,074	38,1	12,0	10,4	3,0	-	0,59
0,10	0,25	9,52	3,0	1,30	0,40	0,3	0,074	38,1	15,0	13,1	3,8	-	0,59
0,25	1,00	9,52	5,0	1,45	0,42	0,3	0,074	38,1	20,0	17,3	5,0	-	0,59

2.3.2 Drenos em espinha de peixe

2.3.2.1 Objetivo e Características

São drenos destinados à drenagem de grandes áreas, pavimentadas ou não, normalmente usados em série, em sentido oblíquo em relação ao eixo longitudinal da rodovia ou área a drenar.

Geralmente são de pequena profundidade e, por este motivo, sem tubos, embora possam eventualmente ser usados com tubos.

2.3.2.2 Localização

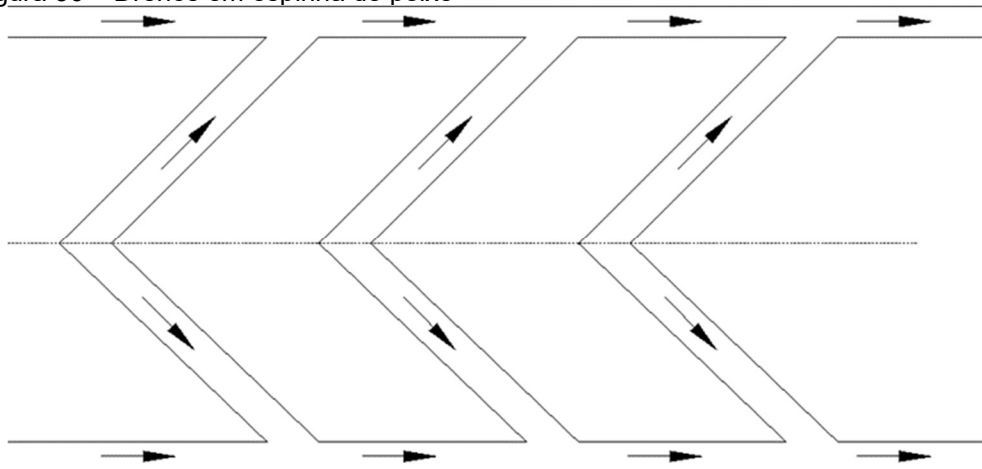
Podem ser exigidos em cortes, quando os drenos longitudinais forem insuficientes para a drenagem da área.

Podem ser projetados em terrenos que receberão aterros e nos quais o lençol freático estiver próximo da superfície.

Podem também ser necessários nos aterros quando o solo natural for impermeável.

Conforme as condições existentes podem desaguar livremente ou em drenos longitudinais, conforme se vê a seguir.

Figura 36 – Drenos em espinha de peixe



Fonte: DNIT, 2006.

2.3.3 Colchão drenante

2.3.3.1 Objetivo e características

O objetivo das camadas drenantes é drenar as águas, situadas a pequena profundidade do corpo estradal, em que o volume não possa ser drenado pelos drenos "espinha de peixe".

2.3.3.2 Localização

Os colchões drenantes são normalmente utilizados nas seguintes condições:

- a) nos cortes em rocha;
- b) nos cortes em que o lençol freático estiver próximo do greide da terraplenagem;
- c) na base dos aterros onde houver água livre próximo ao terreno natural;
- d) nos aterros constituídos sobre terrenos impermeáveis.

A remoção das águas coletadas pelos colchões drenantes deverá ser feita por drenos longitudinais.

2.3.3.3 Características

Para o dimensionamento do colchão drenante, como se trata, ainda, de meio poroso, há necessidade das seguintes determinações:

- a) volume de água a escoar pela camada numa faixa de 1,0 metro de largura e comprimento, na direção do fluxo, até o limite da bacia de contribuição (Q);
- b) gradiente hidráulico do fluxo que poderá ser substituído pela declividade da camada. Além dessas determinações há necessidade de pesquisa no campo para obtenção do material drenante e filtrante, cujas granulometrias deverão obedecer, conforme o caso, aos critérios de Terzaghi, do *Bureau of Reclamation and Soil Conservation Service* e do Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas ou literatura técnica especializada.
- c) os coeficientes de permeabilidade das camadas deverão atender às necessidades da vazão.

2.3.4 Drenos sub-horizontais

2.3.4.1 Objetivos e características

Os drenos sub-horizontais são aplicados para a prevenção e correção de escorregamentos nos quais a causa determinante da instabilidade é a elevação do lençol freático ou do nível piezométrico de lençóis confinados. No caso de escorregamentos de grandes proporções, geralmente trata-se da única solução econômica a se recorrer.

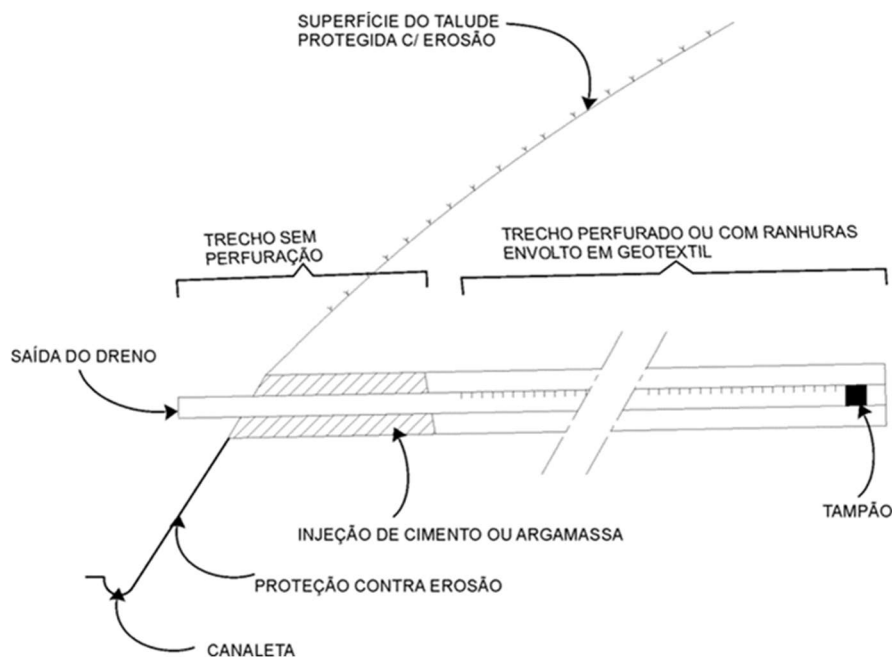
2.3.4.2 Constituição

São constituídos por tubos providos de ranhuras ou orifícios na sua parte superior, introduzidos em perfurações executadas na parede do talude, com inclinação próxima à horizontal. Estes tubos drenam a água do lençol ou lençóis, aliviando a pressão nos poros. Considera-se mais importante que o alívio da pressão a mudança da direção do fluxo de

água, orientando-se assim a percolação para uma direção que contribui para o aumento da estabilidade.

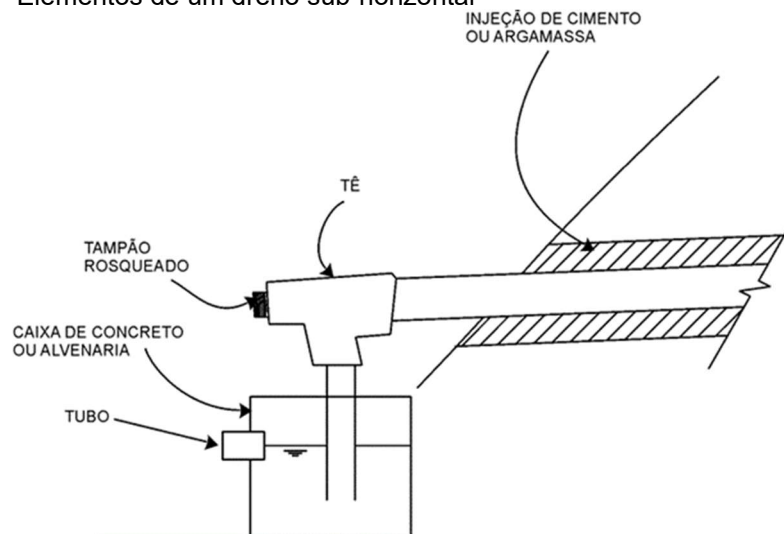
Em solos ou rochas permeáveis ou muito fraturadas a vazão pode ser grande, enquanto que em solos menos permeáveis a vazão pode ser pequena ou nula, embora o alívio de pressão esteja presente; neste caso as vazões podem ser tão pequenas que a água recolhida evapora ao longo de seu caminho no interior do tubo, sendo, porém, seu efeito positivo. Neste último caso, somente com a instalação de instrumentação adequada poderá este efeito ser aquilatado.

Figura 37 – Elementos de um dreno sub-horizontal



Fonte: DNIT, 2006.

Figura 38 – Elementos de um dreno sub-horizontal



Fonte: DNIT, 2006.

Dos estudos existentes, pode-se concluir, em linhas gerais, que:

- a) para o mesmo comprimento total de drenos instalados, drenos longos mais espaçados são mais eficientes no que se refere a aumento de fator de segurança do que drenos mais curtos, com espaçamento menor;
- b) quanto mais suave o talude, maior o comprimento necessário dos drenos;
- c) taludes argilosos e compressíveis, saturados, também podem beneficiar-se dos efeitos promovidos pelos drenos sub-horizontais. Contudo, o tempo necessário para que se façam sentir estes benefícios, em termos do aumento do fator de segurança, aumenta quanto menor for o coeficiente de adensamento (C_v) do solo. Tipicamente, para um aumento de 20 por cento no fator de segurança, é necessário esperar 1 mês, para solos siltsos e arenosos (C_v entre 10^{-5} e 10^{-6} m^2/s), e cerca de seis meses para solos com C_v entre 10^{-6} e 10^{-7} m^2/s . Nestes solos de C_v mais baixo é necessário um número maior de drenos longos para reduzir o tempo necessário para o aumento de segurança desejado.

É importante salientar, mais uma vez, que os ábacos são de aplicação restrita a taludes com inclinação da ordem de 1:2 e 1:3 (V:H). Os espaçamentos e comprimentos obtidos através dos mesmos são úteis como previsão inicial, devendo ser ajustados, em cada caso, de acordo com a geologia local e a experiência do projetista.

2.3.4.3 Recomendações para a execução

Os drenos sub-horizontais previstos nos projetos terão as dimensões indicadas nos mesmos, no que se refere a comprimento e diâmetro.

2.3.4.4 Materiais

Os tubos para os drenos sub-horizontais poderão ser metálicos ou plásticos, como o PEAD rígido com as dimensões indicadas no projeto, não devendo apresentar fraturas, até comprimentos da ordem de 40 metros. Acima deste comprimento poderá ser necessário o emprego de material mais resistente, tipo ferro galvanizado ou inoxidável.

2.3.4.5 Generalidades quanto à execução dos drenos

Os drenos deverão ser executados nos locais e com as características previstas em projeto, devendo ser respeitadas as locações das bocas, a direção em planta e as inclinações com a horizontal.

As definições de uso e a execução obedecerão às Especificações de Serviço DER/PR.

Para se projetar uma bateria de drenos sub-horizontais é necessário, primeiramente, caracterizar-se geotecnicamente o maciço, por meio de sondagens adequadas, verificando-se em seguida em que caso se enquadra o material do talude. Para isso, distinguem-se três situações:

- a) rochas ou solos heterogêneos com relação à permeabilidade;
- b) materiais essencialmente homogêneos com relação à permeabilidade;
- c) escorregamentos relativamente "impermeáveis" cobrindo formações mais permeáveis e saturadas, com nível piezométrico elevado.

No primeiro caso, a drenagem tem o objetivo de interceptar o maior número possível de veios permeáveis ou bolsões permeáveis. Torna-se necessário o caso de rochas sedimentares ou metamórficas fraturadas (gnaiesses bandeados, por exemplo). É necessário levantar o sistema de fraturamento e as direções das fraturas. A direção dos drenos deve ser tal que intercepte cada família de fraturas, com o maior número possível de fraturas interceptadas por dreno. Pode ser necessário, em alguns casos, dispor os drenos em forma de leque, irradiando-os de um único ponto na superfície do talude, em um ou vários locais.

No caso de rochas ou solos homogêneos quanto à permeabilidade, podem-se utilizar ábacos existentes para uma primeira estimativa do número, comprimento e espaçamento dos drenos, de modo a atingir-se a redução desejada das poro-pressões.

No terceiro caso, o comprimento dos drenos deve ser tal que a camada saturada de alta permeabilidade seja interceptada ao longo de um trecho perfurado do tubo com comprimento razoável. Deve ser considerada a necessidade de utilizar o dreno dotado de trecho perfurado apenas nesta camada mais profunda, de modo a não se irrigar camadas mais superficiais, não saturadas, com a água que corre pelo tubo sob pressão.

2.3.5 Valetões laterais

Existem casos em que se recomendam os valetões laterais formados a partir do bordo do acostamento, sendo este valetão constituído, de um lado, pelo acostamento, e do outro pelo próprio talude do corte, processo este designado por falso-aterro.

Não obstante a economia obtida no sistema de drenagem, a estrada ficará sem acostamento confiável na época das chuvas e nos tempos secos terá um acostamento perigoso, face à rampa necessária, sendo necessária a utilização de defensas laterais, a não ser que haja alargamentos substanciais, o que equivale a dizer que os valetões laterais vão funcionar independentemente da plataforma da rodovia.

O dispositivo (valetão lateral), por outro lado, em regiões planas, pode exercer sua dupla função sem dificuldade, visto poder trabalhar como sarjeta e dreno profundo, ao mesmo tempo.

Recomenda-se o revestimento dos taludes do canal com gramíneas. A profundidade do mesmo será de 1.5 a 2.0 m e os taludes de 3:2, quando possível.

2.3.6 Drenos verticais

A eventual necessidade de executar um trecho rodoviário com aterros sobre depósitos de solos moles, tais como: siltes ou argilas orgânicas, argilas sensíveis e turfas pode representar problemas de solução difícil e onerosa e, a fim de reduzir os custos de implantação, deve-se realizar cuidadoso exame do assunto na fase de projeto.

Entre a extensa gama de soluções possíveis de utilização, que vão da remoção do solo por escavação ou deslocamento até as técnicas construtivas, ou seja, velocidade de construção controlada, pré-adensamento, bermas estabilizadoras etc., aparecem os drenos verticais de areia, drenos cartão e os drenos fibroquímicos.

A opção pela solução mais favorável técnica e econômica, deve ser precedida de um amplo estudo de campo e laboratório e de um criterioso estudo comparativo de custos.

Sob o ponto de vista técnico-econômico, a garantia da estabilidade dos aterros construídos sobre depósitos de argila mole saturada pode, normalmente, ser alcançada com o uso da velocidade de compressão controlada ou pré-adensamento, usando, algumas vezes, uma sobrecarga que, ao reduzir os recalques pós-construtivos, vai contribuir para o aumento da resistência ao cisalhamento e, assim, atender ao equilíbrio do maciço.

Muitas vezes, porém, os depósitos de solos compressíveis são, além de espessos, de baixa condição de permeabilidade, fazendo com que o adensamento se produza de modo muito lento, tornando então recomendável, para a aceleração desse processo de adensamento, o uso de drenos verticais de areia ou drenos fibroquímicos.

Os drenos verticais de areia consistem, basicamente, na execução de furos verticais penetrando na camada de solo compressível, nos quais são instalados cilindros com material granular de boa graduação. A compressão decorrente expulsa a água dos vazios do solo o que, aliado ao fato de que normalmente a permeabilidade horizontal é menor que a vertical, faz com que se reduza o tempo de drenagem.

O uso dos drenos de areia, por ser uma solução onerosa, ao ser empregada deve sempre ser precedida de ampla investigação técnica-econômica, sendo indicada para acelerar o aumento da resistência ao cisalhamento e, assim, contribuir para a estabilização do aterro ou da fundação e para apressar, igualmente, o processo de adensamento, diminuindo, pois, os recalques pós-construção. O processo de adensamento com drenos fibroquímicos tem a mesma sistemática.

Deve-se observar que os solos altamente orgânicos – turfosos, por exemplo - cujas principais características são a alta permeabilidade relativa, alta sensibilidade para perturbação, além de um recalque devido à compressão secundária maior que aquele devido ao adensamento primário em período de 10 a 15 anos após o carregamento, não são susceptíveis ao uso dos drenos verticais de areia, conforme amplamente verificado em experiências realizadas. Ocorre, apenas, que, em determinadas circunstâncias, será possível o uso desse dispositivo em solos turfosos quando eles se assentam sobre camadas de argila mole de baixa velocidade de adensamento o que, tendo em vista que a permeabilidade dos solos turfosos pode baixar com elevado carregamento a níveis extremos, pode indicar a aplicação dos drenos verticais de areia para apressar o processo de adensamento da argila.

A instalação dos drenos de areia é procedida por métodos que podem ser descritos como de tubo de ponta fechada, cravado por percussão ou jato d'água, tubo de ponta aberta, com os mesmos tipos de cravação citados, drenagem rotativa, jato de água rotativo, a trado helicoidal contínuo com haste sólida ou oca e cravação por vibração.

Os drenos fibroquímicos são implantados com a cravação dos perfis por punção o que transforma o processo mais rápido e menos oneroso.

Os processos acima enumerados apresentam pontos favoráveis e desfavoráveis, sendo que entre os de maior eficiência podem ser citados o jato de água rotativo, o tubo cravado por jato de água e o uso da cravação por punção.

Observação importante a fazer relaciona-se com os requisitos necessários para o material dos drenos e do colchão drenante, o qual, além de permitir a drenagem da água que é extraída do solo quando da compressão, deve também evitar a penetração de partículas nos drenos tornando-os eventualmente inoperantes.

Em função dos estudos feitos apresenta-se a seguir a granulometria a ser obedecida pelo material do dreno e do colchão drenante.

Quadro 4 – Granulometria a ser seguida por drenos e colchões drenantes

Peneiras		% em peso passando	
Nº	Diâmetro (mm)	Drenos	Tapete drenante
1/2"	12,70	90 a 100	-
3/8"	9,52	-	50 a 100
8	0,093	25 a 100	5 a 50
30	0,022	5 a 50	0 a 20
50	0,011	0 a 20	0 a 5
100	0,006	0 a 3	-

Os materiais granulares dos colchões drenantes devem ser protegidos por filtros granulares ou geotêxteis para impedir a penetração de partículas finas do solo em seu interior e consequente diminuição de sua capacidade de condução de água.

A escolha das granulometrias de material drenante e filtrante, deverá obedecer aos critérios de Terzaghi ou Soil Conservation Service e, no caso de uso de geotêxteis, aos do Comitê Francês de geotêxteis e geomembranas, ou literatura técnica especializada.

Finalmente, cumpre assinalar que é essencial que a execução dos drenos de areia seja encarada como uma operação em sequência ao projeto, devendo ser dada ênfase à verificação instrumental de todos os elementos, o que, em última análise, representa a necessidade da adoção de uma série de cuidados na fase de construção, como por exemplo:

- a) controle de locação;
- b) controle de continuidade;
- c) controle da verticalidade;
- d) controle da compactação e comprimento dos drenos;
- e) controle do material de enchimento;
- f) adequadas análises de estabilidade;
- g) não acumular material de aterro lançado em qualquer ponto da área trabalhada;
- h) carregamento lento durante a construção;
- i) presença constante de fiscalização.

A evolução tecnológica chegou, também, ao setor de consolidação de materiais de baixa consistência, fazendo com que indústrias em vários países tenham criado diversos tipos de drenos pré-fabricados visando, basicamente, igualar ou suplantam a eficiência dos drenos de areia, a menores custos.

O princípio fundamental veio da constatação do cientista sueco Kjellman (1948) de que a eficiência dos drenos verticais depende em grande parte do perímetro e muito pouco da área de sua seção transversal e, em consequência, que a eficiência do dreno será proporcional ao perímetro do dreno.

O dreno fibroquímicos de origem japonesa é constituído de um núcleo acanelado de polietileno, revestido em ambos os lados por um tecido de fibra sintética, fabricado industrialmente em faixas extensas de larguras igual a 100 mm e espessura de 2,8 mm e cuja execução reside em um processo de extrema simplicidade e rapidez, podendo admitir-se uma produção média de 1000 m de drenos por dia.

3 DRENAGEM DE ALÍVIO DE MUROS DE ARRIMO

A drenagem interna de estruturas de arrimo tem por objetivo aliviar as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas do lençol de água porventura existente no maciço a ser arrimado, nas proximidades da obra, de modo a diminuir o empuxo total sobre ela. O efeito da água em contato com a estrutura é apreciável, chegando a dobrar o empuxo calculado para o solo sem água.

O nível de água no maciço e a vazão d'água a ser percolada através do sistema de drenagem são elementos vitais para o projeto da drenagem.

O sistema de drenagem serve ainda para captar possíveis infiltrações devidas a rupturas em canalizações de serviços públicos, causa comum de colapso de obras de arrimo em áreas urbanas.

O posicionamento dos elementos drenantes é crucial para o correto desempenho deste tipo de obra.

O dimensionamento hidráulico do sistema de drenagem está intimamente associado ao projeto do muro, pois os esforços transmitidos à obra dependem, em grau elevado, do posicionamento e características dos elementos drenantes. Por sua vez, as condições geométricas e de estabilidade durante a construção determinam o tipo e posicionamento da drenagem.

Para muros de arrimo com menos de 2,00m de altura, a drenagem é geralmente feita ao longo da face vertical do muro. Em alguns casos, devido a dificuldades executivas ou falta de materiais drenantes, pode ser mais econômico omitir-se a drenagem e projetar-se o muro considerando o empuxo hidrostático adicional.

Para alturas maiores que 2,00m, a ausência de drenagem passa a ser perigosa caso o efeito da água não seja considerado, ou antieconômica, pois a consideração do empuxo pleno leva a projetos mais robustos, com maior consumo de materiais.

Com drenagem inclinada, pode-se ignorar as pressões da água no contato com a parede e no plano de ruptura. Onde as condições geométricas e de estabilidade durante a construção não o permitam, outras disposições no sistema de drenagem poderão ser adotadas. Nestes casos, as pressões devidas à água, calculadas com auxílio de uma rede de fluxo, deverão ser consideradas no cálculo de estabilidade.

Para o cálculo da vazão que o sistema de drenagem deverá comportar, é essencial que se conheça a permeabilidade do maciço a drenar. Essa permeabilidade pode ser obtida por meio de ensaios de infiltração "*in situ*".

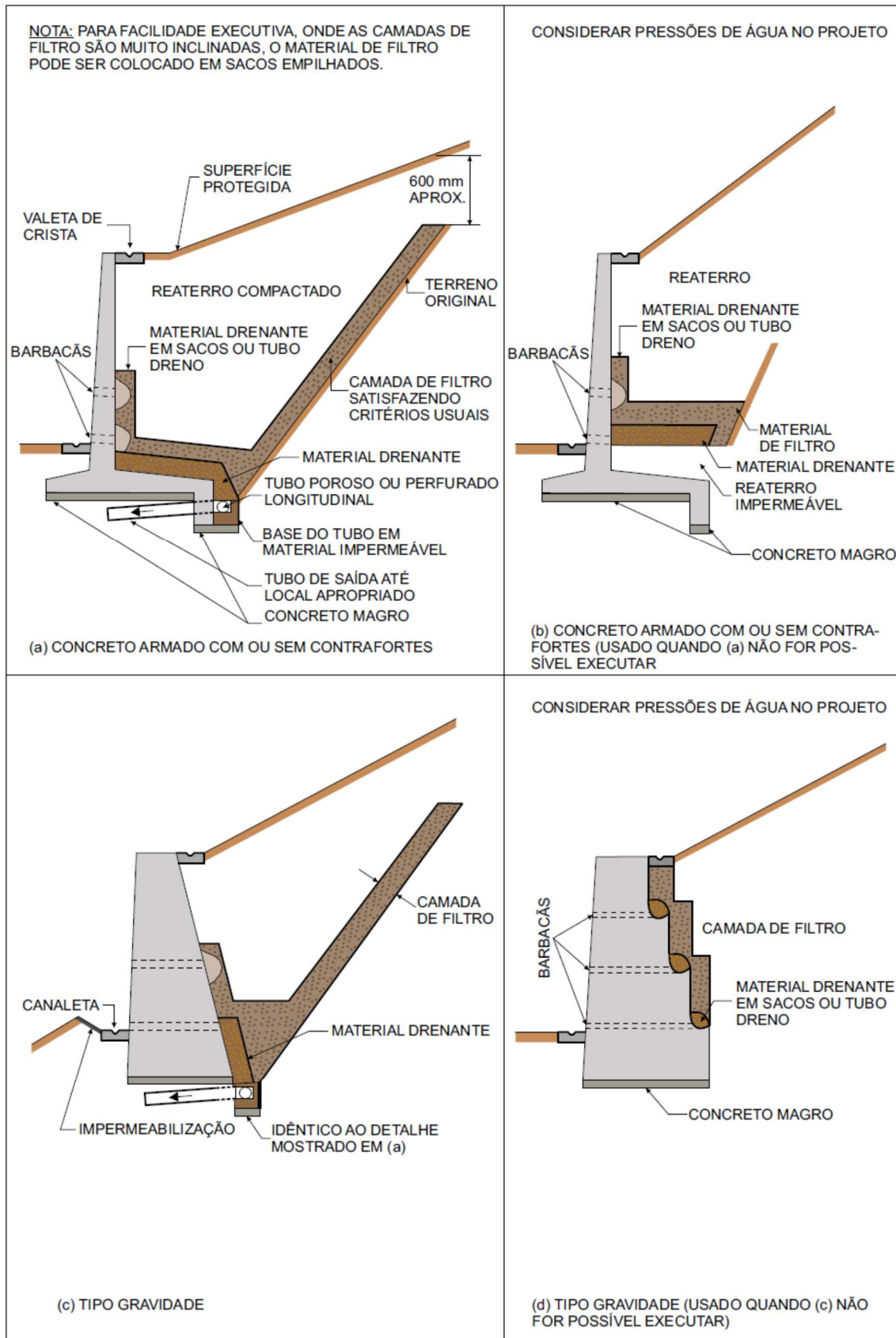
Como regra geral, a permeabilidade do material de drenagem deve ser pelo menos 100 (cem) vezes maior que a permeabilidade do solo a ser drenado. A espessura mínima do dreno pode ser calculada, mas na maioria das vezes, por razões práticas de ordem construtiva, imporão a espessura mínima a ser executada, geralmente maior que a obtida por cálculo.

O sistema de drenagem deve obedecer às regras usuais de materiais filtrantes, de modo a não haver carregamento de finos do interior da massa de solo. A não obediência à observância dessa regra é fator de muitos insucessos. Sérias erosões internas, terminando em colapso de estradas ou do terreno a montante, são frequentes, especialmente no caso de cortinas ancoradas em solos com predominância siltosa.

Deve-se dar preferência ao uso de materiais granulares de comprovada permeabilidade e com granulometria adequada. Como material drenante também podem ser utilizados tubos dreno plásticos.

A falta de drenagem, ou, a execução de drenagem inadequada, sem obedecer a critérios de filtro ou sem capacidade para escoar a vazão real do solo, é causa de muitos insucessos em obras de arrimo.

Figura 39 – Drenagem em muros de arrimo



Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

4 DRENAGEM EM TRAVESSIAS URBANAS

Em todo o País, são de ocorrência frequente trechos urbanos ao longo das rodovias, tornando-se um fato grave a inexistência de uma drenagem específica, no enfoque urbano, quando o país experimenta um rápido processo de urbanização.

As áreas urbanas ao longo das rodovias são inevitáveis e problemáticas, apresentando dois processos de ocorrência bem definidos: em primeiro lugar, com a implantação da rodovia e com os benefícios dela resultantes, surgem núcleos populacionais, ou os já existentes e relativamente distantes da rodovia avançam sobre suas margens, na maioria das vezes de forma desordenada; em segundo lugar, quando de sua implantação, as rodovias atravessam áreas urbanas levando consigo seus benefícios à população.

Em trechos urbanos, a drenagem deve ser tratada de forma diferenciada e detalhada, não se aplicando a sistemática adotada em trechos rurais, uma vez que aqui não está envolvida somente a segurança do veículo e do seu usuário, mas também, de toda a população urbana que vive as margens da rodovia.

No primeiro caso citado cabe, nos projetos de restauração, a adequação do sistema de drenagem às novas realidades, e no segundo cabe ao projeto de implantação o adequado sistema pluvial de drenagem para os trechos urbanos.

Tendo em vista o exposto acima, a colocação deste capítulo neste Tomo II – Drenagem do Manual de Execução de Serviços Rodoviários é plenamente justificável, embora seja importante observar que não será dada à matéria o mesmo enfoque que é dado quando do projeto de complexas redes de drenagem como importante item do planejamento urbano. O objetivo é, pois, fornecer ao engenheiro rodoviário os elementos básicos para promover de forma satisfatória o sistema de escoamento das águas das áreas urbanas, assegurando o trânsito público e protegendo a rodovia e as propriedades particulares dos efeitos danosos das chuvas intensas.

Neste sentido estão sendo apresentados de forma muito sumária os princípios de drenagem urbana para que o engenheiro rodoviário possa resolver questões essenciais quando a rodovia atravessa um aglomerado urbano. Embora normalmente o escoamento das águas pluviais em meio urbano esteja abrangido pelo gerenciamento municipal, é sempre bom que os engenheiros rodoviários tenham um conhecimento básico do funcionamento de uma rede urbana.

O sistema de drenagem de transposição urbana de águas pluviais é composto dos seguintes dispositivos:

- a) sarjetas;
- b) bocas de lobo;
- c) caixas de ligação;
- d) poços de queda e de visita;
- e) rede coletora.

4.1 Sarjetas

As sarjetas em trecho urbano têm como objetivo conduzir as águas que se precipitam sobre a plataforma da via e áreas adjacentes ao ponto de captação que normalmente é uma boca de lobo.

A capacidade de esgotamento de uma boca de lobo, sua localização e espaçamento, qualquer que seja o seu tipo, conforme visto no item anterior, depende da altura d'água no trecho da sarjeta imediatamente a montante da boca de lobo, isto é, em suma, da capacidade de vazão da sarjeta. Se esta estiver localizada em trecho de declividade uniforme, a altura d'água na sarjeta dependerá das suas características de escoamento como conduto livre. Tais características incluem a seção transversal, a declividade e a rugosidade da sarjeta e as superfícies do pavimento sobre as quais a água escoar.

4.2 Bocas-de-lobo

Bocas de lobo são dispositivos especiais que têm a finalidade de captar as águas pluviais que escoam pelas sarjetas para, em seguida, conduzi-las às galerias subterrâneas.

Basicamente, podem ser classificados em dois tipos, a saber:

- a) boca-de-lobo simples, isto é, com abertura no meio-fio, caso em que a caixa coletora fica situada sob o passeio;
- b) boca-de-lobo com grelha, caso em que a caixa coletora fica situada sob a faixa da sarjeta.

Em casos especiais pode haver uma combinação dos dois tipos.

Além desses tipos, podem ainda ser classificados quanto à localização em:

- a) bocas-de-lobo situadas em pontos intermediários das sarjetas;
- b) bocas-de-lobo situadas em pontos baixos das sarjetas.

No primeiro caso, as bocas-de-lobo localizam-se em trechos contínuos e de declividade uniformes das sarjetas e a entrada das águas pluviais se dá através de apenas uma das extremidades da boca-de-lobo.

No segundo caso, a boca-de-lobo localiza-se em pontos baixos das sarjetas ou junto à curvatura dos meios-fios, no cruzamento de ruas, e a entrada das águas pluviais ocorre pelas duas extremidades da boca-de-lobo.

A boca-de-lobo simples é constituída de uma abertura vertical no meio-fio denominada guia-chapéu, através da qual se permite a entrada da água pluvial que escoam sobre as sarjetas.

A capacidade de esgotamento de uma boca-de-lobo simples é função da rapidez com que se processa a mudança de direção do fluxo na sarjeta.

Portanto, aumentando-se, por exemplo, esta altura de fluxo, através de uma depressão na sarjeta junto à face do meio-fio, a capacidade de esgotamento da boca-de-lobo será substancialmente aumentada.

A principal vantagem da boca-de-lobo simples é que as obstruções por detritos, embora sejam inevitáveis, são menos frequentes, por serem as aberturas maiores. A desvantagem principal é a baixa eficiência quando utilizada em sarjetas com declividades longitudinais acentuadas.

A boca-de-lobo com grelha possui, uma abertura coberta com barras metálicas longitudinais ou transversais formando grelhas.

As grelhas podem ser longitudinais ou transversais, segundo estejam localizadas paralela ou perpendicularmente em relação à direção do escoamento.

A principal desvantagem das grelhas é a sua obstrução com detritos transportados pelas enxurradas, acarretando redução substancial em sua capacidade de esgotamento.

Numerosas experiências têm mostrado que as grelhas constituídas de barras longitudinais são mais eficientes e menos sujeitas às obstruções do que aquelas compostas por barras transversais.

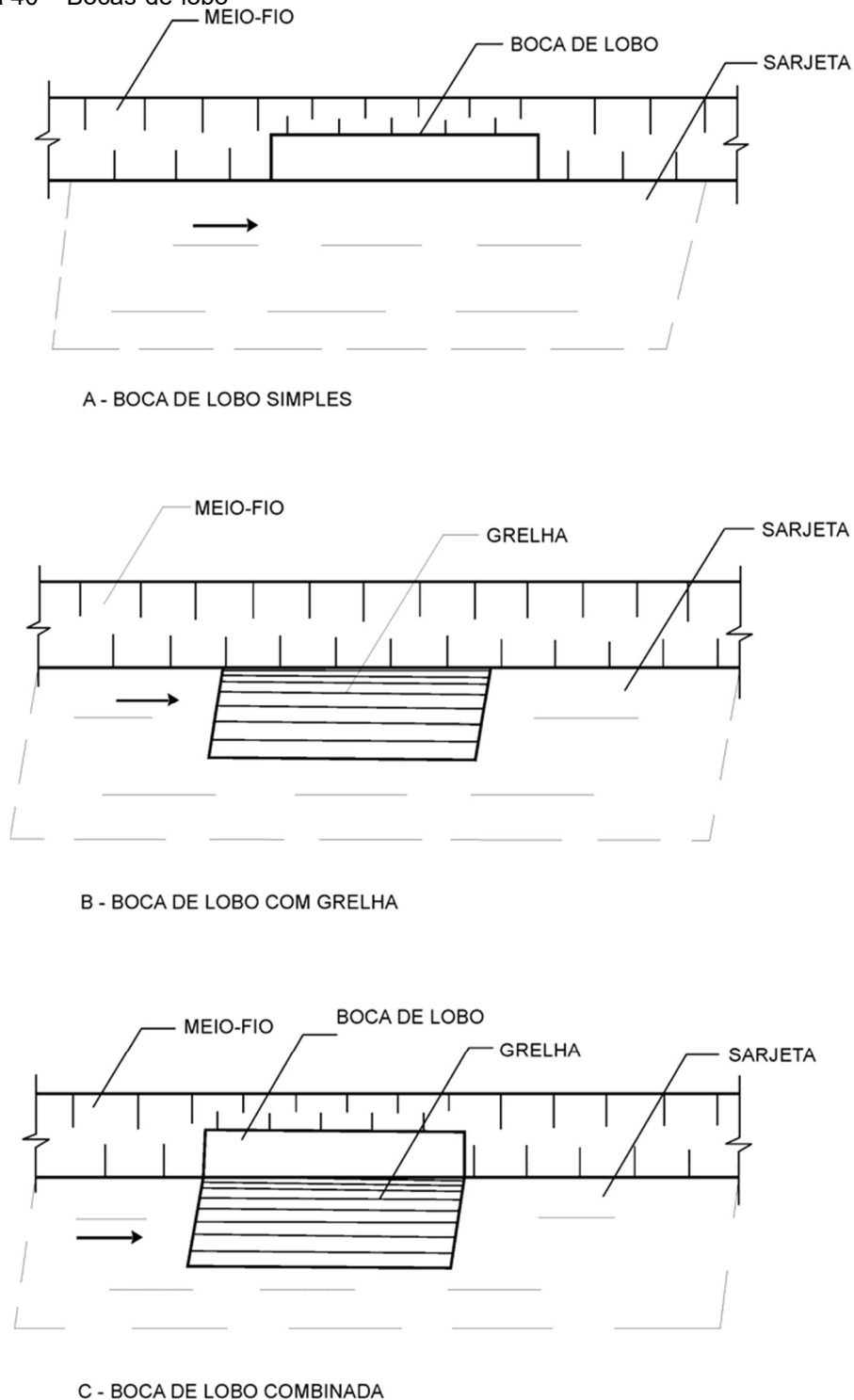
A boca-de-lobo combinada é uma associação entre a boca-de-lobo simples e a grelha, funcionando como um conjunto único.

Localiza-se em pontos intermediários das sarjetas ou em pontos baixos, sendo que normalmente a grelha é instalada defronte a abertura do meio-fio, podendo também ser colocada a montante ou a jusante.

Ensaio de laboratório revelaram que na boca-de-lobo combinada, enquanto não houver obstrução da grelha, a abertura no meio-fio pouco influi em sua capacidade. Quando ocorre

qualquer obstrução, porém, essa abertura torna-se importante para o funcionamento da boca-de-lobo. Se a grelha for colocada a jusante da abertura, obtém-se melhores resultados.

Figura 40 – Bocas-de-lobo



Fonte: DNIT, 2006.

As bocas-de-lobo devem ser localizadas imediatamente a montante das curvas dos meios-fios nos cruzamentos, em pontos baixos do perfil e em pontos intermediários, segundo as necessidades de captação de águas, e seu espaçamento é função da capacidade hidráulica da sarjeta.

Para os procedimentos a serem seguidos na execução deste dispositivo, devem ser obedecidas as Especificações de Serviço DER/PR.

4.3 Caixas de ligação

Caixas de ligação são dispositivos subterrâneos e não visitáveis, utilizados para a ligação de bocas de lobo intermediárias à rede coletora, para evitar a chegada em um mesmo poço de visita de mais de quatro tubulações ou para permitir a mudança de direção ou declividade da rede coletora. Podem ser construídas com alvenaria ou com concreto armado.

4.4 Poços de queda e de visita

Os poços-de-visita são dispositivos especiais que têm a finalidade de permitir mudanças ou das dimensões das galerias ou de sua declividade e direção. São dispositivos também previstos quando, para um mesmo local, concorrem mais de um coletor. Têm ainda o objetivo de permitir a limpeza nas galerias e a verificação de seu funcionamento e eficiência.

Após o dimensionamento e localização das bocas-de-lobo e sarjetas, devem ser posicionados os poços de visita que atenderão às bocas-de-lobo projetadas e demais casos particulares, conforme descrito acima.

Poços de queda e de visita são dispositivos destinados à redução da declividade das redes coletoras e/ou para permitir a visita para inspeção e limpeza das redes. São utilizados nos cruzamentos de ruas, nas mudanças de direção da rede, na extremidade de montante da rede e em trechos longos para inspeção.

Os poços de queda e de visita previstos no Álbum de Projetos-Tipo do DER/PR são do tipo simples, executados em alvenaria ou em concreto armado. São constituídos por uma caixa, tipo ligação, com uma chaminé acoplada e com escada interna tipo marinheiro para facilitar o acesso ao interior do poço.

É denominada de chaminé a ligação feita com tubo de concreto $\varnothing = 0,60\text{m}$ entre a caixa de concreto e a superfície. Na parte superior da chaminé o tubo de concreto é tampado com uma chapa circular, removível, de ferro fundido.

Quando a diferença de nível entre o tubo afluente e o efluente for superior a 0,70m, o poço de visita é denominado poço de queda.

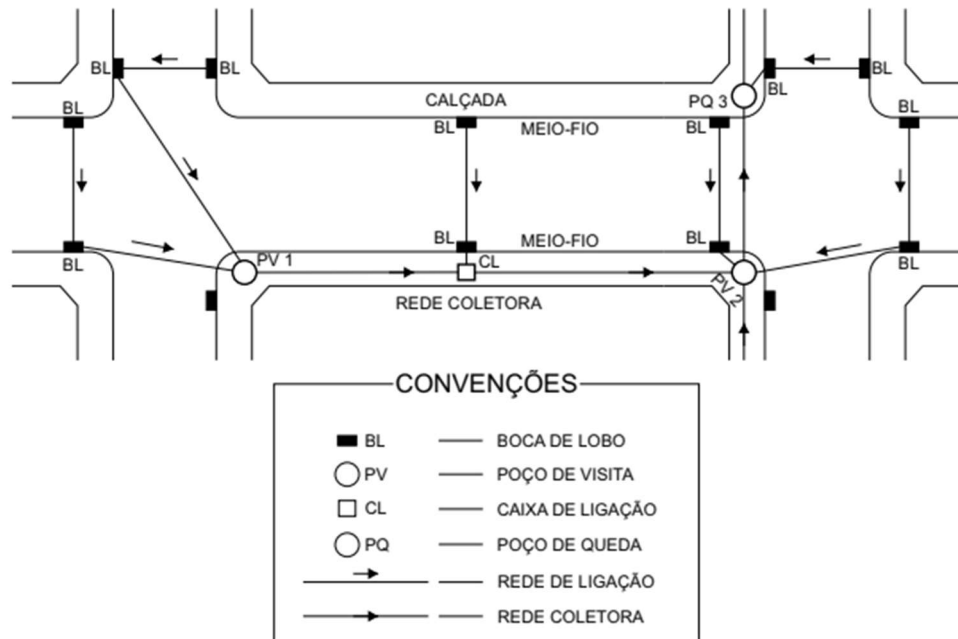
4.5 Rede coletora

Rede coletora e rede de ligação são as redes de tubos destinadas a conduzir as águas coletadas pelos dispositivos de drenagem pluvial. É constituída por tubos de concreto, armados ou não, com diâmetro variável de 0,40 m a 1,20 m.

As redes de ligação fazem a condução da água do dispositivo coletor até a rede coletora. Todos os detalhes de projeto dos dispositivos de drenagem pluvial urbana constam do Álbum de Projetos-Tipo do DER/PR.

O croqui a seguir indica a posição de cada dispositivo em relação ao leito da rua e aos cruzamentos.

Figura 41 – Croquis de elementos de drenagem urbana



Fonte: Adaptado de São Paulo, 2012.

4.6 Aspectos relacionados à execução

A sequência natural de etapas executivas visando a implantação dos dispositivos de drenagem pluvial urbana é a seguinte:

- locação do dispositivo, por processo topográfico convencional ou por tomadas de medidas a trena. Em segmentos intermediários aos dispositivos previstos, as redes deverão ter o alinhamento definido pela marcação de pontos do eixo em espaçamentos máximos de vinte metros. As posições dos dispositivos ou seus alinhamentos deverão ser materializadas com estacas de madeira pintadas com tinta branca;
- execução das escavações de trincheiras para a construção dos dispositivos, as quais devem ser abertas com dimensões superiores às do dispositivo que vai abrigar, de modo a não restringir a movimentação de pessoal e equipamentos necessários à implantação. A legislação em vigor, Portaria nº. 3214 do Ministério do Trabalho, de 08/06/1978, regulamentada pela NR-18 e pela Portaria nº. 17, de 07/07/1983, obriga o escoramento de valas com

profundidade superior a 1,25m, devendo em qualquer caso ser seguida a orientação da ABNT-NBR 9061;

- c) regularização e compactação do fundo e umedecimento do solo. Todas as irregularidades deixadas durante a escavação deverão ser eliminadas antes da compactação, que poderá ser feita por processos manuais ou mecânicos:
 - c.1) a superfície de fundo dos dispositivos deverá ficar perfeitamente plana e em nível antes da concretagem. A rede coletora deverá apresentar declividade contínua entre dois dispositivos consecutivos;
 - c.2) o solo compactado que servirá de base para o assentamento do dispositivo a executar será umedecido antes da concretagem da laje de fundo. O grau de umedecimento deverá ser tal que proporcione boas condições de trabalho durante a concretagem;
- d) preparo, colocação de armaduras e concretagem da laje de fundo dos dispositivos ou do berço da rede coletora. Quando a rede estiver posicionada sob área não trafegável o berço de concreto poderá ser substituído por uma base de brita;
- e) levantamento das paredes: os dispositivos em alvenaria de tijolos deverão ter os quatro cantos de paredes (pilares) executados com concreto armado. Os tijolos deverão ser assentados com argamassa de cimento e areia, traço 1:3. As formas de madeira dos dispositivos em concreto armado bem como as armaduras deverão ser executadas prevendo se previamente a entrada e/ou a saída dos tubos da rede. As paredes deverão ser erguidas após o assentamento da linha de tubos para permitir uma perfeita amarração entre os tubos e os dispositivos;
- f) colocação da escada de marinho: A escada deverá ser fixada à uma das paredes conforme o projeto-tipo. Nos dispositivos em concreto armado a escada deverá ser fixada em sua posição final antes da concretagem;
- g) acabamento interno dos dispositivos através da execução de chapisco, emboço e reboco e enchimento de concreto no fundo;

- h) execução das vigas de apoio nas bocas de lobo e das lajes superiores pré-moldadas nos demais dispositivos. A abertura para a tampa de visita deverá ser considerada na execução das formas das bocas de lobo;
- i) colocação da chaminé nos poços de visita, com os tubos de 0,60m de diâmetro colocados com a bolsa para cima. A ponta dos tubos estará apoiada em dentes deixados na laje superior;
- j) fixação da grade de ferro ou assentamento da tampa de concreto, pré-moldada, nas bocas de lobo e do tampão de ferro fundido sobre o tubo da chaminé dos poços de visita;
- k) complementação das laterais entre o dispositivo e as paredes da escavação, com o próprio material escavado desde que seja de boa qualidade, e compactação;
- l) execução do berço de brita ou de concreto sobre o leito de assentamento dos tubos da rede coletora;
- m) instalação dos tubos sobre o berço, no sentido de montante para jusante;
- n) complementação da concretagem do berço de concreto, se for o caso;
- o) aterro das laterais dos tubos da rede coletora em camadas com, no máximo, 15 cm de espessura até a altura equivalente a 30 % do diâmetro externo do tubo:
 - o.1) o material empregado poderá ser o próprio escavado, desde que seja de boa qualidade;
- p) execução do reaterro até se atingir uma altura de 0,60 m acima da geratriz superior externa dos tubos da rede coletora, com compactação em camadas individuais com 15 cm de espessura;
- q) para assegurar a perfeita execução do serviço, os seguintes aspectos devem ser observados:
 - q.1) todo o material utilizado deve ser de boa qualidade e estar de acordo com as especificações;

- q.2) nos locais de pontos baixos de greide, a posição da boca de lobo deverá ser definida através do nivelamento geométrico da via, tomado sobre a superfície do meio-fio sarjeta;
- q.3) as escavações para a execução dos dispositivos devem ter dimensões suficientes para permitir a livre movimentação das pessoas envolvidas na construção. Os espaçamentos mínimos recomendados entre as paredes do dispositivo e da escavação, em cada lado, são de 0,50 m e 0,30 m, respectivamente, para os dispositivos (bocas de lobo, caixas de ligação e poços de visita) e para a rede coletora;
- q.4) a laje de fundo dos dispositivos e o berço da rede coletora deverão ser assentados sobre terreno firme, previamente compactado. A declividade da rede entre dois dispositivos consecutivos deverá ser contínua;
- q.5) o recobrimento das armaduras deverá respeitar as orientações contidas nas normas ABNT-NBR 6118 e ABNT-NBR 14.931;
- q.6) os tubos da rede nos pontos de conexão com cada dispositivo deverão ser posicionados em contato com os dispositivos antes da concretagem dos mesmos, de modo a permitir uma perfeita amarração entre a rede e o dispositivo após a sua concretagem;
- q.7) o concreto armado utilizado na execução dos dispositivos de drenagem pluvial urbana deverá apresentar $f_{ck} \geq 20$ MPa;
- q.8) a compactação do material de enchimento das cavas, junto as paredes, deverá ser feita inicialmente com soquetes mecânicos e complementada com "sapos mecânicos" ou placas vibratórias;
- q.9) o tráfego de equipamentos pesados e veículos em geral sobre os tubos da rede de galerias só deverá ser permitido após a conclusão do reaterro até 0,60 m acima da geratriz superior dos tubos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMCO STACO – www.armcostaco.com.br

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – PBH. Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP. **Caderno de Encargos SUDECAP**. Capítulo 19 – Drenagem. 4ª Edição. Belo Horizonte: PBH, 2022.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Implantação Básica de Rodovia** (IPR Publ. 742). 3ª Edição. Rio de Janeiro: IPR, 2010.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Drenagem de Rodovias** (IPR Publ. 724). 2ª Edição. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem** (IPR Publ. 736). 5ª Edição. Rio de Janeiro: IPR, 2018.

MINAS GERAIS. Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. **Manual de Procedimentos para Elaboração de Estudos e Projetos de Engenharia Rodoviária**. Volume VII – Projeto de Drenagem. 4ª Edição. Belo Horizonte: DER/MG, 2021

PARANÁ. Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná. **Manual de Execução de Serviços Rodoviários**, 2ª Edição, Curitiba: DER/PR, 1996.

SÃO PAULO (cidade). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana. São Paulo: SMDU, 2012. ISBN 978-85-638-01-6.