

Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários

Conteudista:

Eider Gomes de Azevedo Rocha

Brasília, setembro de 2022.

Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários

Módulo 6

Drenagem Subsuperficial e Profunda.

- Drenagem subsuperficial: conceitos, tipos de dispositivos e empregos;
- Drenagem profunda: conceitos, tipos de dispositivos e empregos.

Conforme estabelece O Art. 11 da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 03/DNIT SEDE, DE 1º DE ABRIL DE 2022, o servidor que optar por receber a GECC relativa à elaboração de material didático, cede, tacitamente e em caráter irrevogável, a titularidade dos direitos patrimoniais relativos aos materiais produzidos em decorrência dessa percepção. Desta forma, tendo em vista o contido no Processo nº 50600.008060/2022-01, o DNIT poderá revisar o material cedido, adaptá-lo e utilizá-lo livremente em outros eventos que venha a promover, bem como o ceder a outros órgãos e entidades federais.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	DRENAGEM SUBSUPERFICIAL.....	2
2.1.	CAMADA DRENANTE - CD.....	6
2.2.	DRENO RASO LONGITUDINAL - DRL	13
2.3.	DRENO RASO TRANSVERSAL – DRT	17
2.4.	DRENO LATERAL DE BASE.....	21
3.	DRENAGEM PROFUNDA	23
3.1	DRENO LONGITUDINAL PROFUNDO - DLP	24
3.2	DRENO ESPINHA DE PEIXE	37
3.3	COLCHÃO DRENANTE	40
3.4	DRENO HORIZONTAL PROFUNDO - DHP.....	42
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

Muitas das patologias encontradas nas rodovias advêm do excesso de umidade presente no interior de sua estrutura, combinado com o efeito do tráfego dos veículos.

Para captar estas águas ou mesmo impedir tal excesso de umidade e preservar a estrutura das rodovias, é indispensável que sejam previstos dispositivos de drenagem profunda e subsuperficial.

Em ambos os casos, o objetivo é proteger o pavimento das águas que se infiltram na sua estrutura, seja pela parte superior, quando a água penetra principalmente através das trincas e juntas, ou pela parte inferior, quando a água ascende pelo efeito da poropressão ou pela elevação do nível do lençol freático, ou ainda pelas áreas laterais.

Neste módulo, serão apresentados os conceitos relativos à drenagem profunda e subsuperficial, detalhando os seus mecanismos de combate ao excesso de umidade e os diferentes tipos de dispositivos que estão à disposição dos projetistas.

2. Drenagem Subsuperficial

Os dispositivos de drenagem subsuperficial tem por objetivo proteger o pavimento das águas que se infiltram nas camadas mais superficiais de sua estrutura, sendo assim chamados pois estão normalmente compreendidos entre os dispositivos de drenagem superficial e os de drenagem profunda.

Essas águas, de um modo geral, provêm principalmente de duas fontes: infiltrações diretas das precipitações pluviométricas e as provenientes de lençóis d'água subterrâneos. No primeiro caso, as águas irão atravessar os revestimentos numa taxa variando de 33 a 50 %, nos pavimentos com revestimentos asfálticos, e de 50 a 67 % nos pavimentos de concreto de cimento Portland, podendo causar sérios danos à estrutura do pavimento, inclusive base e sub-base, se não forem adotados dispositivos especiais para drená-las (BRASIL, 2006).

A penetração da água na estrutura do pavimento (e que poderá ser captada pelos dispositivos de drenagem subsuperficial) deriva quase que na sua totalidade de águas precipitadas que penetram nas juntas e fissuras dos revestimentos, quer estes sejam de concreto asfáltico (CA) ou placas de concreto de cimento Portland (CCP).

Segundo Suzuki (2013), a maior parcela de infiltração ocorre através das juntas longitudinais e transversais, bem como pelas trincas presentes nas placas de concreto de cimento Portland ao longo do tempo. Quando o acostamento dos pavimentos de CCP é executado com revestimento asfáltico, a junta pista-acostamento é outro ponto significativo de infiltração, caso não seja devidamente tratado.

Já em pavimentos de concreto asfáltico (CA), as juntas de construção das camadas de revestimento e as trincas que surgem ao longo do tempo no revestimento são os pontos críticos de infiltração. As figuras 2.1 e 2.2 ilustram alguns destes casos.



Figura 2.1 – Junta acostamento-pista, sendo pista em CCP e acostamento em CA (Fonte: próprio autor).



Figura 2.2 - Juntas longitudinais e transversais em revestimento de CCP de uma rodovia.

Além do mais, com o passar do tempo, há grande chance de aparecerem fissuras maiores e em maior quantidade, bem como outras patologias, que irão contribuir ainda mais para a penetração da água no interior dos pavimentos, tal como pode ser evidenciado nas figuras 2.3 e 2.4.



Figura 2.3 - Fissuras seladas em revestimento asfáltico de uma rodovia.

Outros fatores que intervêm na maior ou menor quantidade de água que pode infiltrar nos pavimentos não estão relacionados ao clima, à pluviometria, e sim às características geométricas e aos materiais empregados em sua construção. Assim, as declividades transversais e longitudinais, bem como a permeabilidade dos materiais da estrutura da rodovia, em especial de seu revestimento, irão interferir no processo de infiltração.



Figura 2.4 - Patologia do tipo couro de jacaré em revestimento asfáltico de uma rodovia.

Ainda no tocante aos materiais constituintes, é de conhecimento comum que muitas das rodovias de nosso país são formadas por materiais de baixa

permeabilidade, ou mesmo com o subleito formado de materiais finos argilosos e ainda com acostamentos laterais pouco permeáveis, o que dificulta ainda mais a drenagem das águas que penetram pelas trincas e juntas, intensificando o problema da umidade excessiva, tal como mostram as figuras 2.5 e 2.6.

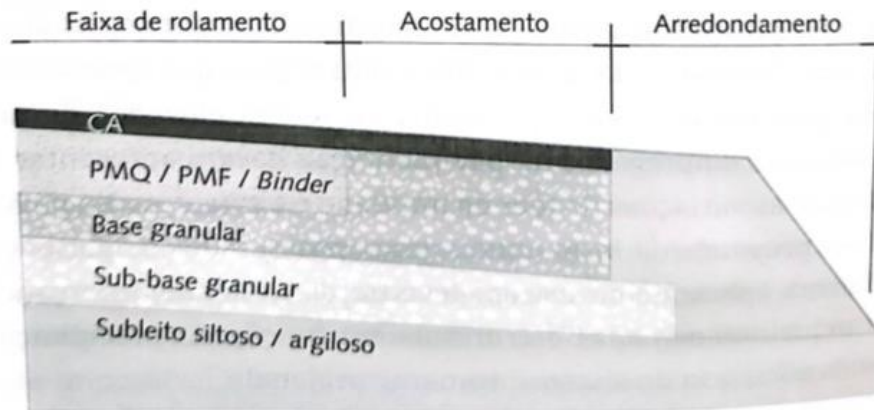


Figura 2.5 – Seção transversal tipo “banheira” de uma plataforma de CA. (Fonte: SUZUKI, 2013).

Assim, os dispositivos de drenagem subsuperficial (complementados pelos dispositivos de drenagem superficial) são de suma importância para remover toda a água que precipita e se infiltra na estrutura, num tempo relativamente curto e que evite a saturação, estando intimamente relacionados ao desempenho dos pavimentos, haja vista que o movimento das cargas de tráfego na superfície do pavimento que contenha água livre no interior de sua estrutura irá produzir ondas móveis de pressão e/ou poropressão hidrostática pulsante.

As magnitudes das pressões neutras são afetadas pelo tipo de solo, grau de compactação, teor de umidade inicial, natureza e variação da aplicação das cargas, gradiente de temperaturas, tratamento e rigidez dos materiais constituintes da estrutura do pavimento.

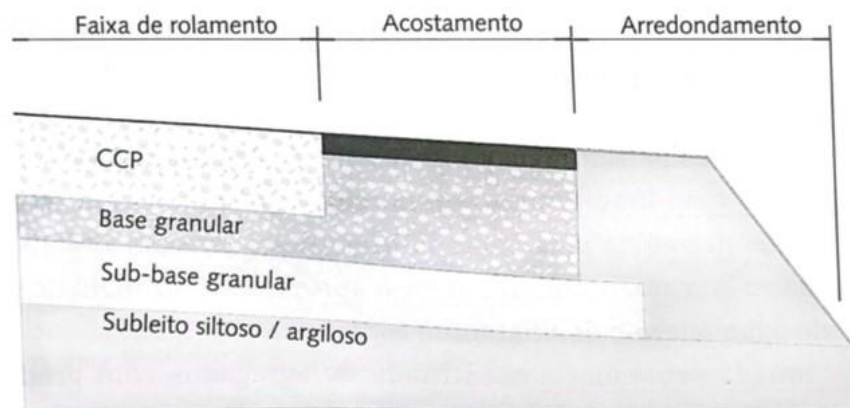


Figura 2.6 – Seção transversal tipo “banheira” de uma plataforma de CCP. (Fonte: SUZUKI, 2013).

De um modo geral, a drenagem do pavimento se faz necessária, no Brasil, nas regiões onde anualmente se verifica uma altura pluviométrica maior do que 1.500 milímetros e nas estradas com um volume médio diário - VMD de 500 veículos comerciais, nos dois sentidos (DNIT, 2006).

Já Cedergren, apud Suzuki (2013), recomenda a implantação nos seguintes casos: altura de precipitação média anual superior a 254 mm e número de repetições do eixo padrão $N \geq 10^6$.

Na sequência serão abordados os principais tipos de dispositivos de drenagem subsuperficial, tratando-se de cada um deles de forma isolada.

2.1. CAMADA DRENANTE - CD

É uma camada de material granular, com granulometria apropriada, colocada normalmente 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, sendo também designadas de base drenante. As figuras 2.7 e 2.8 ilustram alguns casos de sua aplicação.

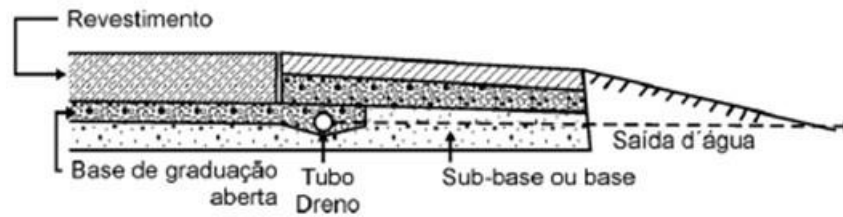


Figura 2.7 – Detalhe de seção de rodovia com camada drenante executada com tubo coletor na extremidade. (Fonte: BRASIL, 2006).

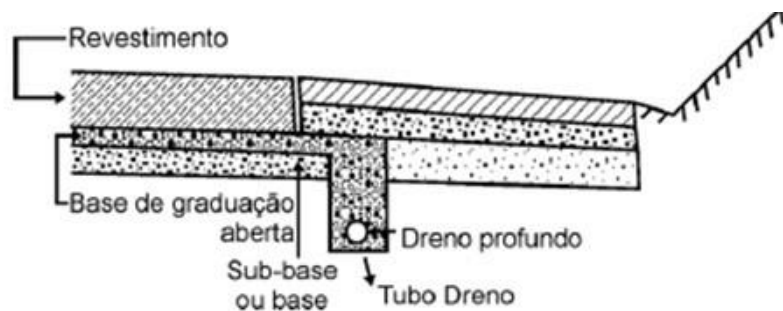


Figura 2.8 – Detalhe de seção de rodovia com camada drenante conectada a dreno longitudinal na extremidade. (Fonte: BRASIL, 2006).

Alguns autores consideram que a CD pode estar situada entre o revestimento e o subleito, e normalmente conectada a drenos longitudinais, ou mesmo se estendendo até a face lateral do talude, possibilitando a livre descarga da água por ela conduzida, conforme pode-se notar por meio da figura 2.9. A escolha de uma solução ou outra dependerá da largura do acostamento e da vantagem, principalmente econômica, entre a extensão desta camada ou instalação de um dreno longitudinal.

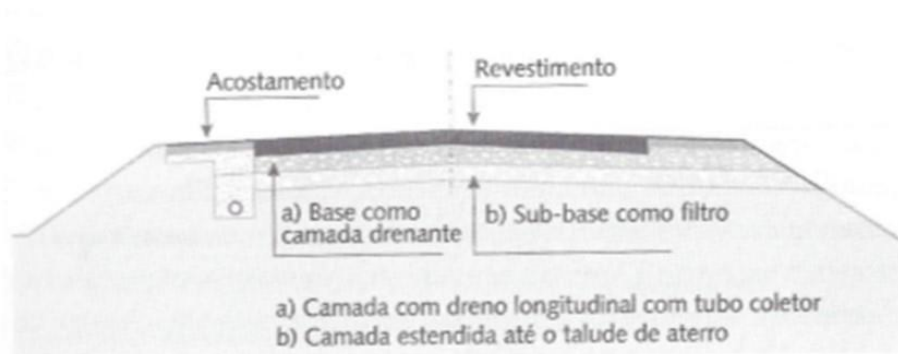


Figura 2.9 – Detalhe de solução com camada drenante interligada a dreno longitudinal e com camada drenante estendida até face talude. (Fonte: SUZUKI, 2013).

TOME NOTA

Quando empregadas nas camadas mais inferiores da estrutura do pavimento, próximo ao subleito, passam a atuar mais como um dispositivo de drenagem profunda, propriamente dito, recebendo a denominação de colchão drenante, cujo detalhamento será apresentado no próximo capítulo.

Para Suzuki (2013), a colocação da camada drenante logo abaixo do revestimento, seja ele de CA ou de CCP, é preferível, pois a água pode ser drenada e expelida mais rapidamente da estrutura, eliminando assim a possibilidade de ocorrer bombeamento. Neste caso, a camada funcionará como uma base drenante e deverá satisfazer condições de permeabilidade e de estabilidade, tal como pode ser notado na figura 2.10.

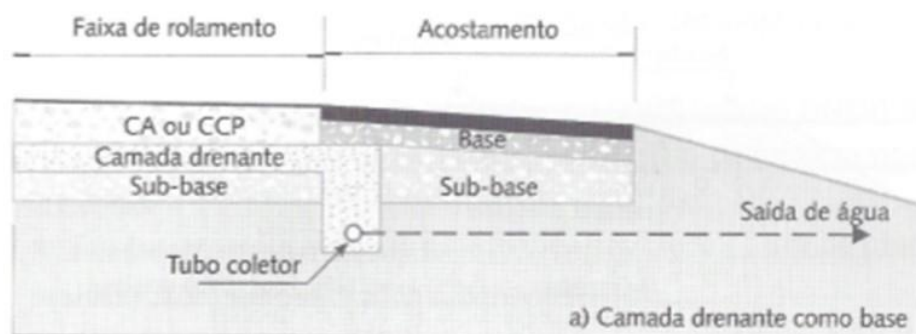


Figura 2.10 – Posicionamento recomendado para a camada drenante/dreno longitudinal em pavimentos rodoviários. (Fonte: SUZUKI, 2013).

Neste caso, a CD interferirá nas condições de suporte do pavimento, devendo, portanto, ser considerada no seu dimensionamento estrutural. Por isso é recomendável que a mesma não só tenha elevada permeabilidade, como também características de suporte compatíveis com o nível de sollicitação do tráfego.

Em outras situações, a camada drenante poderá ser colocada no topo do subleito, atuando como uma camada extra, sem apresentar contribuição estrutural, ou poderá ser uma parte da sub-base, como pode ser exemplificado

pela figura 2.11. Nestas aplicações, as permeabilidades das camadas situadas acima devem ser maiores que o índice de infiltração, de modo a permitir que a água flua livremente pela CD.

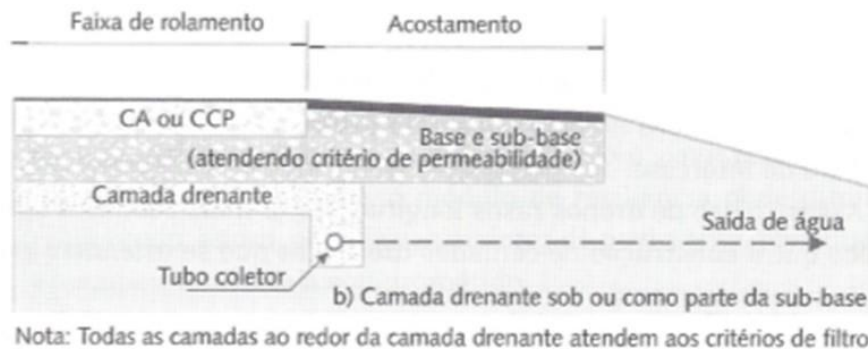


Figura 2.11 – Camada drenante situada em posições mais inferiores da estrutura de pavimentos rodoviários. (Fonte: SUZUKI, 2013).

Na maior parte do nosso país, assim como nas regiões de clima tropical úmido, onde ocorrem elevados índices pluviométricos, há uma nítida predominância das infiltrações ocorrendo pela superfície do pavimento. Com isso, é recomendável que a camada drenante fique o mais próximo possível do revestimento, possibilitando a captação e remoção imediata das águas infiltradas.

A espessura da CD irá variar de acordo com as condições pluviométricas das regiões onde se situam e serão fixadas pela necessidade hidráulica de drenagem imposta pela rodovia.

De um modo geral, os materiais utilizados na sua execução costumam ser agregados de rocha sadia, britadas ou não. A experiência tem recomendado algumas curvas para agregados de graduação que estão reproduzidas na figura 2.12, retirada do Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT. Nela pode-se verificar que as cinco granulometrias recomendadas se situam entre os diâmetros $1^{1/1}$ e 1 , $1^{1/2}$ e $n^{\circ} 4$, $3/4$ e $3/8$, $3/8$ e $n^{\circ} 4$ e $n^{\circ} 8$.

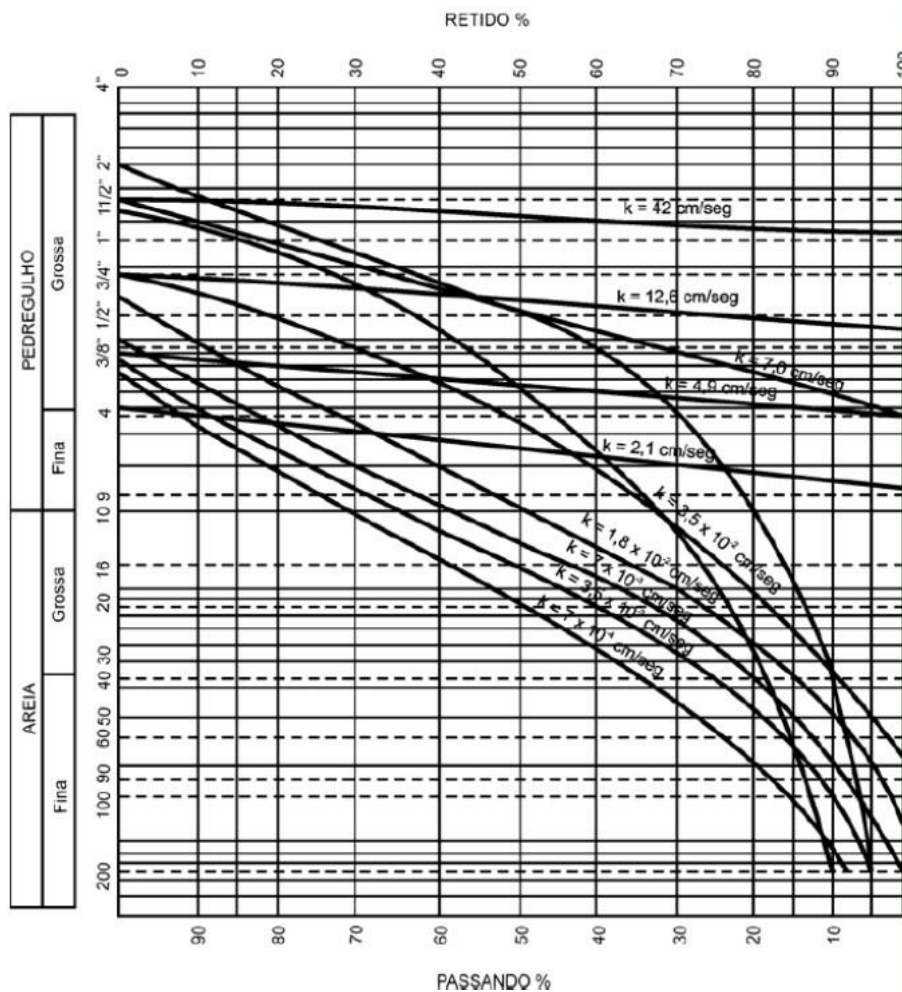


Figura 2.12 – Curvas para agregados e suas graduações (Fonte: BRASIL, 2006).

A condutividade hidráulica dessas faixas é avaliada pelos respectivos coeficientes de condutividade hidráulica, que variam de $k = 42 \text{ cm/s}$, para a faixa dos agregados de maior tamanho, a $k = 2,1 \text{ cm/s}$, para a faixa dos de menores dimensões, mostrando-se valores amplamente satisfatórios.

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, uma vez que a compactação pode fazer variar o tamanho dos agregados e, conseqüentemente, influir na alteração das citadas características.

Também é recomendável que, nos casos em que o subleito for argiloso, o que é relativamente comum em nosso país, há a necessidade de uma base de valor

estrutural sob a camada drenante, ou pelo menos, uma sub-base, para proteger a base drenante da intrusão de materiais finos que possam obstruir os poros da CD, 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, tal como se mostra na figura 2.13a e 2.13b.

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, como por exemplo o 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, como ilustrado nas figuras 2.13c e 2.13d.

Alguns autores designam estes elementos de camada separadora, ou ainda, camada de bloqueio, mas em todos os casos sua finalidade será a mesma: evitar penetração de material fino para o interior da camada drenante, que poderia ocasionar entupimento e redução da sua permeabilidade, ou mesmo diminuir a capacidade de suporte da camada subjacente.

Quando as CDs forem projetadas em segmentos rodoviários onde há presença de material de terceira categoria, pode-se recorrer à solução proposta no Álbum de Projetos-tipo de Dispositivos de Drenagem (BRASIL, 2018), conforme apresentado na figura 2.14.

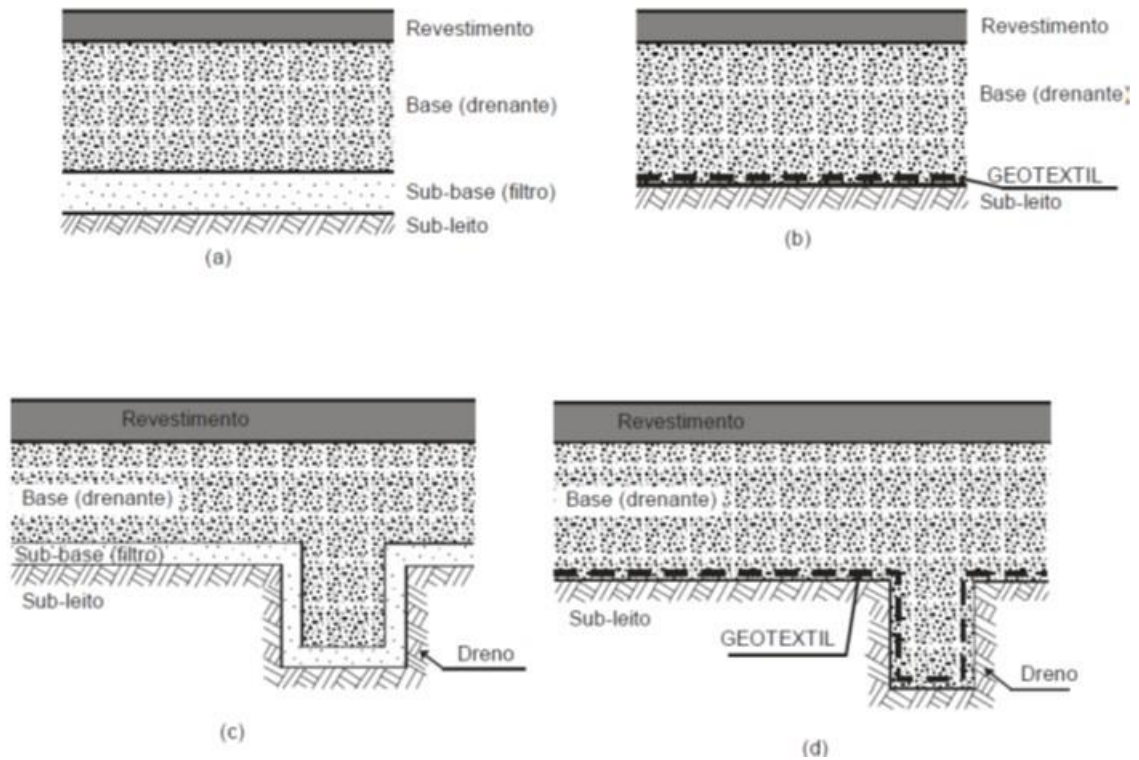


Figura 2.13 – Exemplos de utilização de camadas ou filtros separadores (Fonte: BRASIL, 2006).

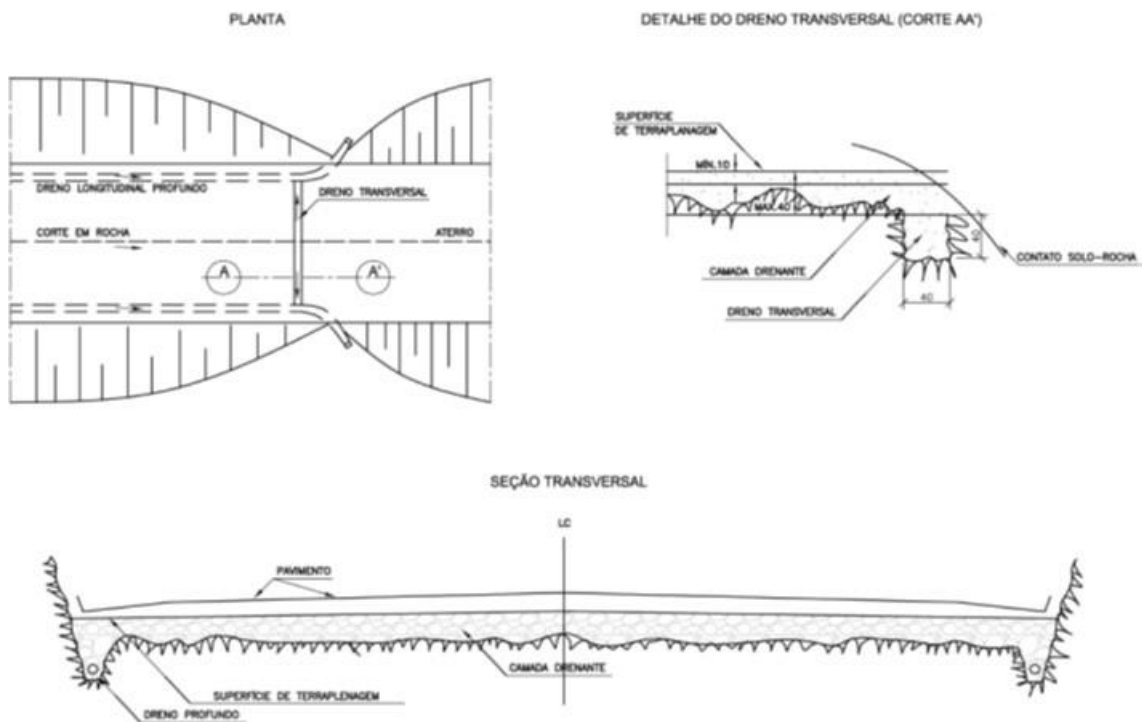


Figura 2.14 – Aplicação de camada drenante em segmentos de corte com ocorrência de material de terceira categoria (Fonte: BRASIL, 2018).

2.2. DRENO RASO LONGITUDINAL - DRL

Também conhecidos como drenos de borda, são dispositivos que recebem as águas captadas pela camada drenante, aliviadas pelos drenos laterais e transversais que recebem as águas por ele transportadas, quando atingida sua capacidade de vazão, conduzindo-as para fora da faixa estradal.

Tais dispositivos devem ser projetados quando não é técnica e economicamente aconselhável a extensão da camada drenante por toda a largura da plataforma, ou ainda quando não é possível interconectar a camada drenante com drenos longitudinais profundos, que possam vir a ser necessários.

É conveniente destacar que os DRLs têm profundidade relativamente pequena e por tal razão não tem a finalidade de rebaixar o lençol freático elevado ou coletar águas provenientes de outras fontes subterrâneas. Nestes casos, devem ser previstos drenos profundos, que serão tratados mais à frente.

Normalmente os DRLs são executados a partir da escavação de trincheiras, que são revestidas ou não por manta geotêxtil e preenchidas somente por agregados (quando são chamados de drenos cegos), ou com a inclusão de tubulação, que possibilita elevar a capacidade de vazão do dispositivo.

É recomendável que os drenos rasos longitudinais sejam posicionados no acostamento, e de certa forma o mais próximo de sua borda externa, ou mesmo sob os dispositivos de drenagem superficial, quando projetados, de modo a evitar o desconfinamento das camadas subjacentes, tal como pode ser observado nas figuras 2.15 e 2.16. Quando tratar-se de segmento em corte e houver possibilidade de instabilização ou escorregamento do talude, a localização do dreno deve ser reavaliada.

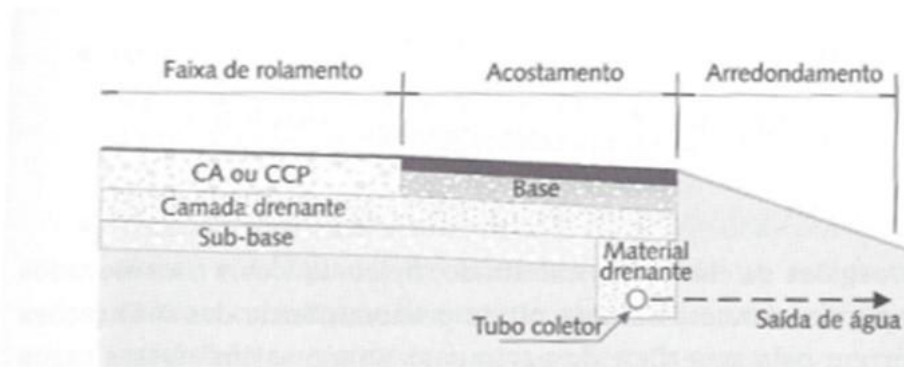


Figura 2.15 – Posicionamento recomendado para o DRL em pavimentos rodoviários. (Fonte: SUZUKI, 2013).



Figura 2.16 – Posicionamento recomendado para o DRL em pavimentos urbanos. (Fonte: SUZUKI, 2013).

As vias expressas que forem construídas com pavimentos de CCP, com acostamento em CA, merecem atenção especial, haja vista que poderão sofrer grave deterioração ao longo da junta CCP – CA. O estrago nesta junta normalmente é causado pelos caminhões pesados passando pelo acostamento (particularmente nas curvas horizontais), juntamente com a expansão e contração térmica do pavimento principal, que tendem a abrir esta junta, além das ações de congelamento e degelo, a penetração da água, o bombeamento do pavimento adjacente sob a ação das rodas pesadas, e assim por diante (CEDERGREN, 1980).

Para proteger esta área, o tubo do dispositivo de drenagem longitudinal poderá ser colocado ligeiramente fora da junta, conforme mostrado na figura 2.17, ou se for aconselhável proteger o acostamento totalmente, a camada drenante poderá

ser estendida e o tubo coletor longitudinal instalado no bordo exterior, como mostra a figura 2.18.

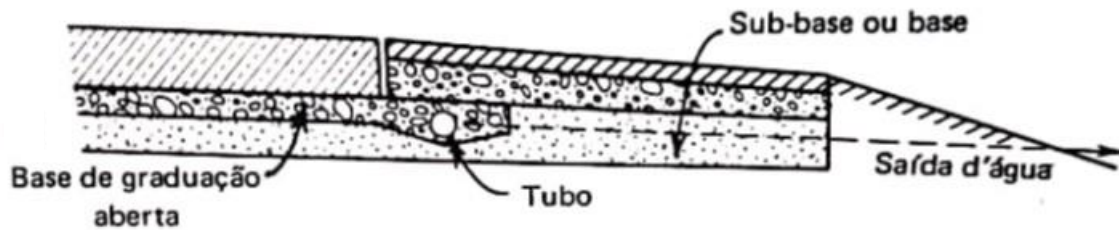


Figura 2.17 – Solução com instalação de tubo coletor próximo a junta CCP - CA. (Fonte: CEDERGREN, 1980).

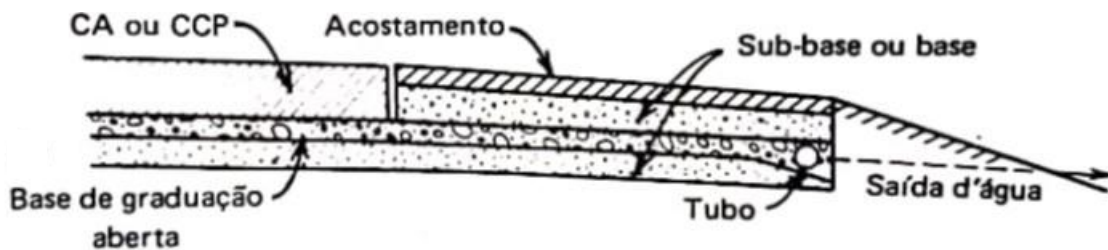


Figura 2.18 – Solução com extensão da camada drenante e instalação de tubo coletor no bordo. (Fonte: CEDERGREN, 1980).

Os materiais dos drenos laterais de base devem ser inertes e ter, pelo menos, os valores dos coeficientes de condutividade hidráulica dos materiais usados nas respectivas camadas drenantes.

Alguns tipos de DRLs podem ser encontrados no Álbum de Projetos-tipo de Dispositivos de Drenagem (DNIT, 2018), conforme apresentado na figura 2.19.

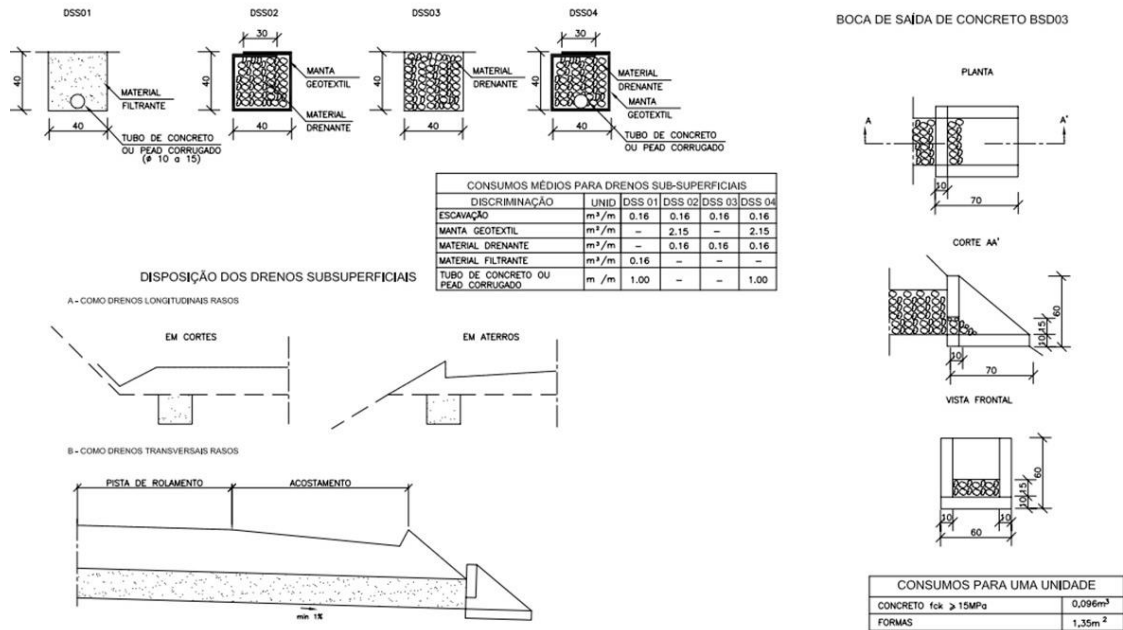


Figura 2.19 – Modelos de drenos subsuperficiais sugeridos pelo DNIT (Fonte: BRASIL, 2018). Por meio da análise da figura anterior, é possível notar que os drenos tipo DSS-01 e DSS-03 não têm a trincheira envolvida com manta geotêxtil. O primeiro é preenchido com material filtrante e provido de tubulação, enquanto o segundo é preenchido com material drenante e desprovido de tubo. Já os modelos DSS-02 e DSS-04 são envolvidos com manta e preenchidos com material drenante, sendo o primeiro do tipo cego e o segundo com tubulação.

As saídas destes dispositivos normalmente recebem uma boca do tipo BSD-03, tal como detalhado na figura 2.19 e ilustrado na figura 2.20. Quando possível, o deságue também poderá ocorrer em outros dispositivos de drenagem existentes, como a exemplo de sarjetas e valetas, tal como pode ser notado na figura 2.21.



Figura 2.20 – Boca de saída de dreno instalada nas obras de duplicação da BR-304/RN (Fonte: próprio autor).



Figura 2.21 – Saída de dreno em sarjeta de corte junta da BR-354/MG (Fonte: próprio autor).

2.3. DRENO RASO TRANSVERSAL – DRT

Os drenos rasos transversais diferem dos drenos rasos longitudinais por ocasião de seu posicionamento na rodovia. Os DRTs são posicionados transversalmente à pista de rolamento, em toda a largura da plataforma, sendo usualmente indicados nos pontos baixos das curvas verticais côncavas, ou em outros locais onde se necessitar drenar as bases permeáveis.

Segundo Cedergren (1980), ao projetar sistemas de drenagem de pavimento, os profissionais devem tentar visualizar o sistema em três dimensões e procurar

todas as situações especiais ou singulares nas quais a água possa ficar represada por geometria incomum, ou onde a água tenda a formar meandros por longas distâncias, sem alcançar uma saída. Alguns locais que requerem atenção especial são as curvas reversas com superelevação, longos trechos em rampa batida e curvas verticais côncavas.

Um critério sugerido por aquele autor para ser utilizado ao se examinar o projeto de pavimentação, com vistas a localizar os tubos coletores necessários, é que a máxima distância de percolação não deva exceder 45 a 60 m. Drenos longitudinais, drenos transversais e drenos coletores suplementares deverão ser projetados conforme necessário para satisfazer tal critério.

A figura 2.22 ilustra os caminhos da água em curvas rodoviárias superelevadas, bem como trazem os drenos transversais e de borda localizados nos pontos necessários para evitar longos meandros de percolação. Já a figura 2.23 mostra uma curva vertical côncava que requer drenos transversais, a depender da inclinação das rampas envolvidas e também do desenvolvimento da própria curva.

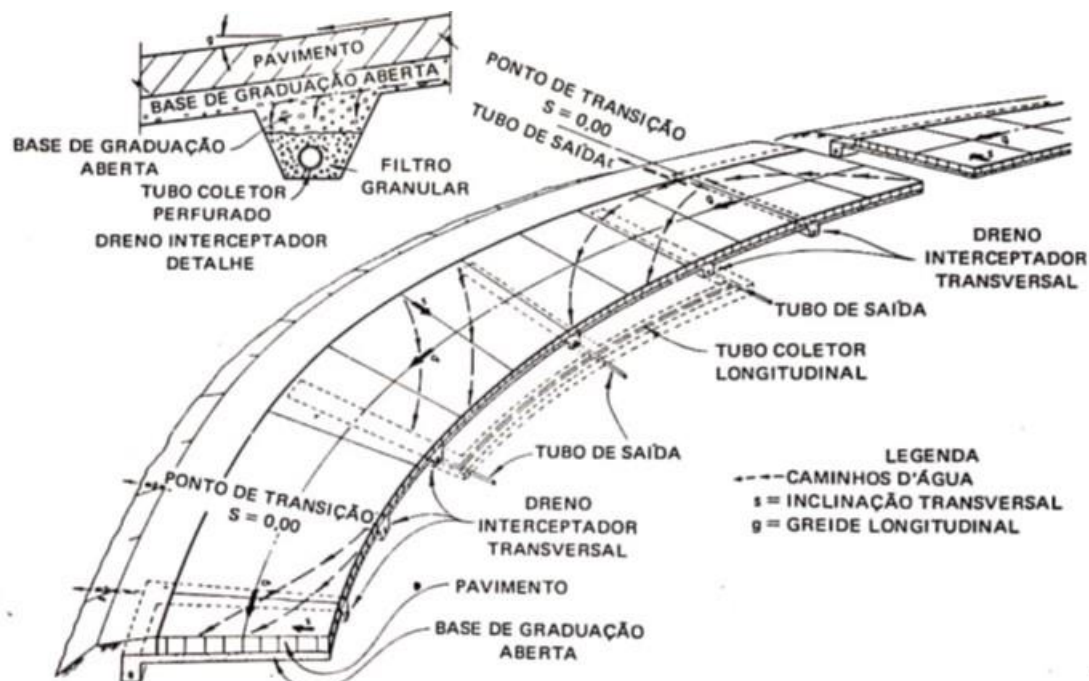


Figura 2.22 – Drenos em curvas com superelevação e caminhos dos fluxos d'água (Fonte: CEDERGEN, 1980).

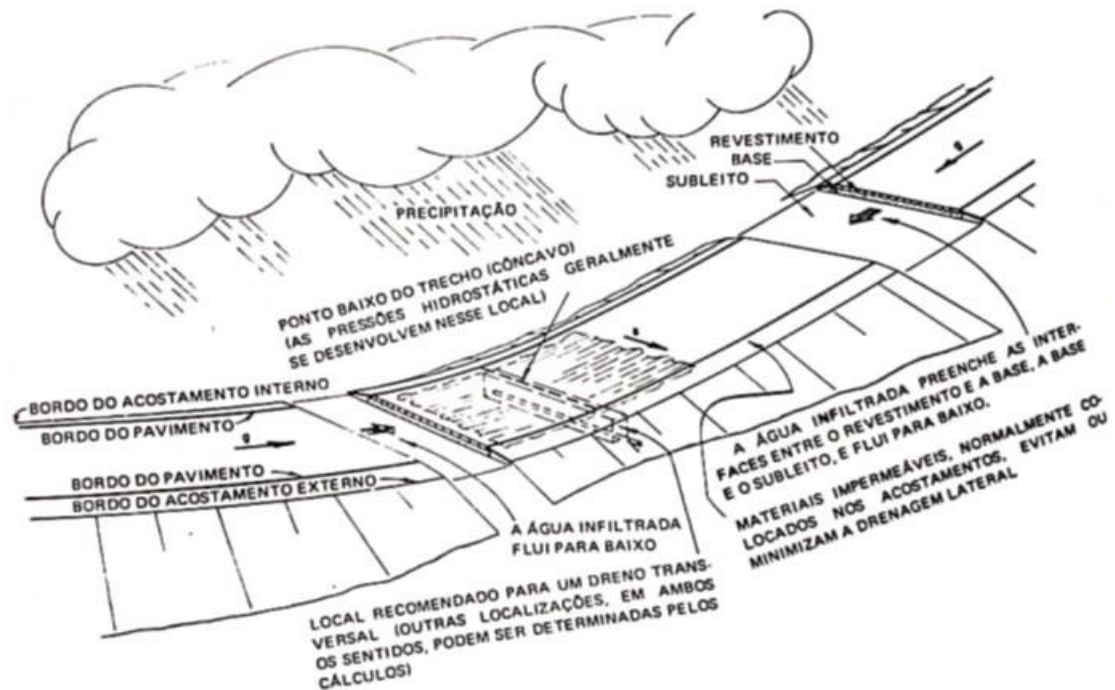


Figura 2.23 – Drenos transversais em curvas verticais côncavas (Fonte: CEDERGREN, 1980).

Outros autores, como Silva (2008), sugerem que os drenos transversais sejam instalados em curvas verticais côncavas da forma como ilustrado na figura 2.24. No caso de haver alguma OAE ou OAC no ponto mais baixo da curva vertical, deve-se fazer a correção da disposição dos DRTs conforme orientação da figura 2.25.

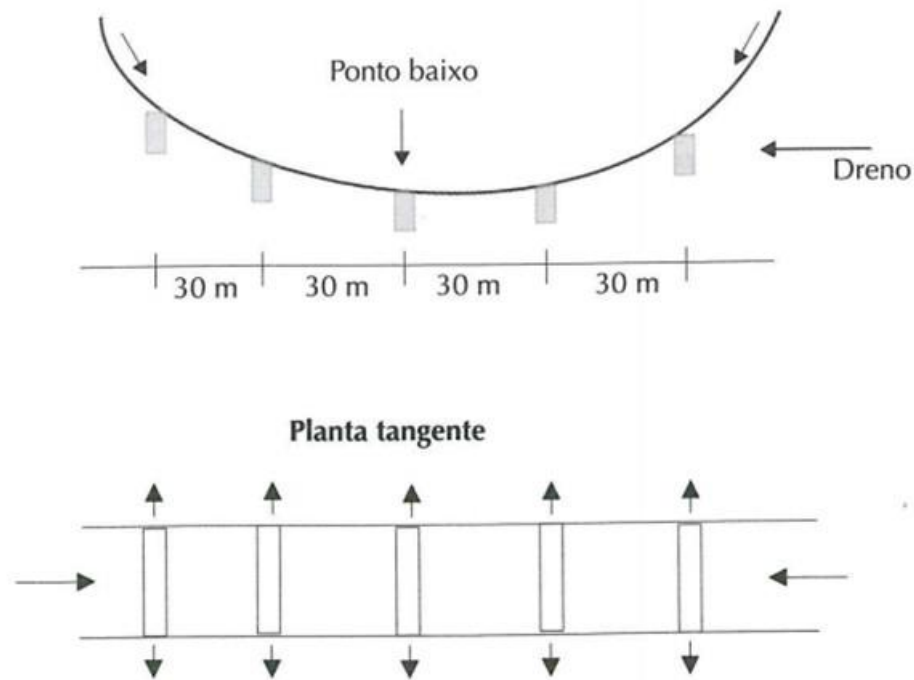


Figura 2.24 – Disposição de drenos transversais em curva vertical côncava. (Fonte: SILVA, 2008).

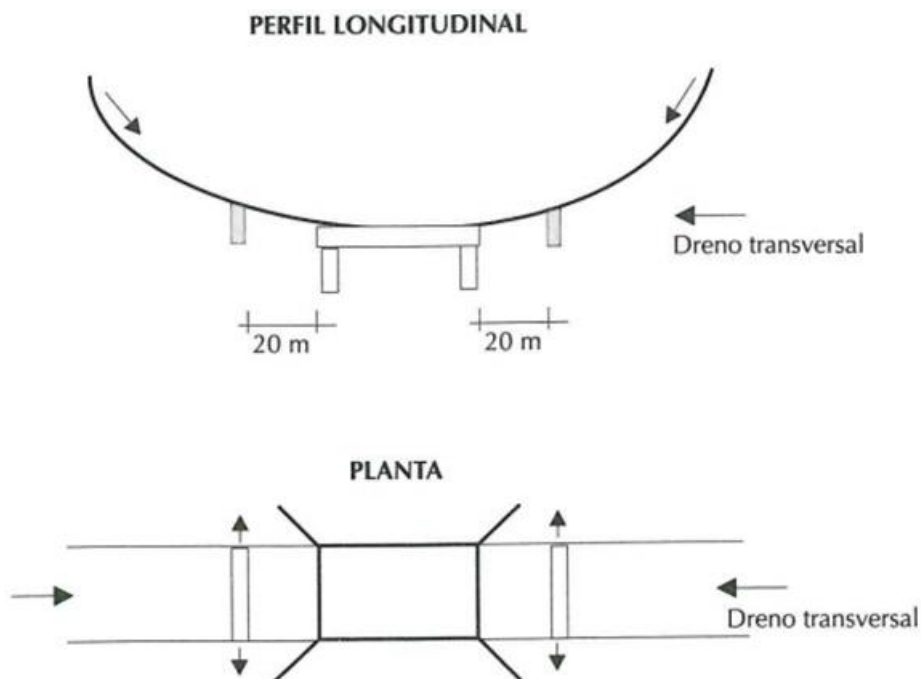


Figura 2.25 – Disposição de drenos transversais em curva vertical côncava com OAE (Fonte: SILVA, 2008).

2.4. DRENO LATERAL DE BASE

São drenos que têm 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.

Eles se confundem com os drenos rasos longitudinais, haja vista que as suas funções são muito semelhantes, qual seja, recolher a água drenada pela camada drenante, porém explorando mais a sua capacidade de escoamento.

As águas drenadas passam a correr junto à base dos acostamentos até esgotar a capacidade da camada drenante, quando serão captadas pelos drenos laterais de base que as conduzirão a lugar de deságue seguro, atravessando os acostamentos.

Sobre este aspecto vale a pena destacar a discussão trazida por Cedergren (1980), ao realçar que a maioria dos materiais normalmente utilizados na construção de acostamentos e de bases são de graduação relativamente densa e de baixa permeabilidade, não oferecendo drenagem muito eficiente. Na esperança de melhorar tal drenagem, alguns projetistas de pavimento utilizaram nos acostamentos materiais granulares, tratados ou não e muito permeáveis.

Este autor relata que um estudo do noroeste dos Estados Unidos utiliza um lastro de pedregulhos com diâmetros variando de 6 mm a 38 mm nos acostamentos, em algumas áreas que necessitavam de drenagem. Um outro estado do sul tem feito uso de lençol drenante permeável sob os acostamentos de alguns pavimentos, onde estavam ocorrendo severos danos provocados pelo excesso de água, pois os engenheiros sentiram, de maneira evidente, que uma boa drenagem dos acostamentos reduziria os problemas causados pelo excesso de umidade.

A fim de permitir uma rápida identificação e lembrança dos tipos de dispositivo de drenagem subsuperficial discutido neste capítulo, apresenta-se a tabela 2.1, que traz um breve resumo dos tipos de dispositivos e suas respectivas funções.

Tabela 2.1 – Resumo dos elementos de drenagem subsuperficial.

Elemento	Função hidráulica / estrutural	
Camada drenante	Captar a água infiltrada, conduzi-la até os drenos rasos longitudinais, prover adequado suporte ao pavimento. Pode ser estabilizada ou tratada com ligante hidráulico ou asfáltico. Pode ser aplicada isoladamente ou com outra camada.	
Dreno raso longitudinal	Tubo coletor	Tubo perfurado ou fendilhado. Receber a água da camada drenante e transportá-la até os tubos de saída lateral.
	Cego	Constituído essencialmente de brita.
	Tubo de saída lateral	Coletar a água do dreno longitudinal e efetuar lançamento final em local e cota adequados.
Camada separadora	Constituída de agregados de graduação densa, estabilizada ou não, ou substituída por geotêxtil. Evitar o agulhamento e manter separados os materiais da camada drenante e do subleito constituído de material mais fino. Reduzir a migração de finos e consequente colmatção da camada drenante.	
Dreno raso transversal	Constituído preferencialmente de agregado drenante. Coletar a água que percola longitudinalmente no pavimento nas regiões de baixa declividade.	
Dreno lateral de base	Constituído de material granular, estabilizado ou não. Coletar a água da camada drenante e efetuar lançamento lateral e final em substituição aos drenos rasos longitudinais.	

Fonte: SUZUKI, 2013.

3. Drenagem Profunda

Como já discutido nos primeiros capítulos, a água das chuvas tem normalmente dois caminhos: 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 d'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, e para atender este propósito os dispositivos de drenagem profunda são bastante úteis.

Assim, de modo a evitar confusão entre o sistema de drenagem apresentado no capítulo anterior e o que será apresentado neste capítulo, é conveniente que se destaque que o sistema de drenagem profunda serve para controlar e rebaixar o nível do lençol freático subterrâneo, enquanto o sistema de drenagem subsuperficial tem por objetivo remover rapidamente o excesso de água livre que se infiltra pela superfície e bordas laterais do pavimento.

Na sequência serão abordados os principais tipos de dispositivos de drenagem profunda, tratando-se de cada um deles de forma isolada.

3.1 DRENO LONGITUDINAL PROFUNDO - DLP

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, tal como pode ser visualizado na figura 3.1.

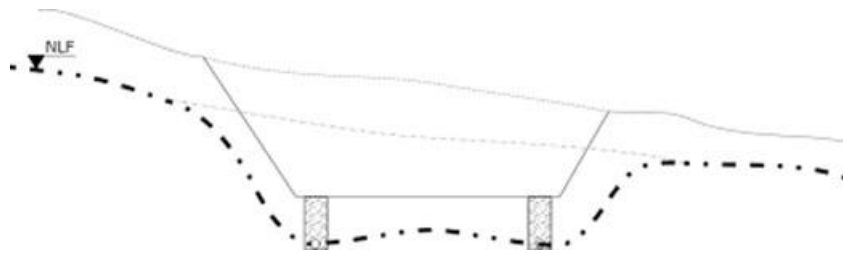


Figura 3.1 – Esquema com detalhe do rebaixamento do lençol freático ocasionado pela implantação de drenos longitudinais profundos.

Os drenos profundos são instalados, preferencialmente, em profundidades da ordem de 1,50 a 2,00 m, tendo por finalidade captar e aliviar o lençol freático e, conseqüentemente, proteger o corpo estradal.

Os DLPs devem ser instalados nos trechos em corte, nos terrenos planos que apresentem lençol freático próximo do subleito, bem como nas áreas eventualmente saturadas, próximas ao pé dos taludes (BRASIL, 2006).

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 (BRASIL, 2006).

Na avaliação deste autor, a instalação de drenos profundos em cortes, de forma generalizada, tal como sugere o parágrafo anterior (retirado do Manual de Drenagem de Rodovias - DNIT, 2006), pode ser desnecessária, haja vista que o lençol freático nem sempre alcança níveis elevados em todos eles, principalmente quando tem pequena extensão e pequena altura.

Assim, no caso de uma implantação, a sugestão de drenos em cortes pode ser melhor avaliada pelos ensaios de campo, em especial os de determinação do nível do lençol freático e os de caracterização do subleito, devendo-se apenas

ter o cuidado para a época em que tais ensaios foram executados, pois caso coincidam com período de estiagem e longas secas, seus resultados poderão estar camuflados.

Para Jabôr (2019), o projetista deve seguir algumas recomendações para avaliar a necessidade ou não de drenagem longitudinal profunda quando se tratar de obras de implantação / pavimentação:

- Quando da execução da sondagem do subleito nos cortes, de acordo com o plano de sondagem elaborado pelo projetista de pavimentação, no momento da coleta de material, medir a umidade natural do solo para posterior comparação com a umidade ótima. Esta sondagem deverá ser realizada no período chuvoso da região em estudo, mas não deverá ser feita com chuva.

- Caso a sondagem e a visita a campo por parte do projetista, por motivos contratuais, sejam realizadas na estação seca, recomenda-se que na ida a campo, o projetista identifique algumas pessoas que utilizam diariamente, durante o ano todo o trecho em estudo, para que possa mostrar os locais que no período chuvoso apresentem atoleiros e agarrador, pois são indicadores de presença de lençol freático ou excesso de umidade no corte. Estas informações obtidas no local, associada aos resultados de sondagem, com o tipo do solo e seu comportamento com a presença de água, irá auxiliar em muito no desenvolvimento do projeto.

- Quando na execução da sondagem do subleito nos cortes encontrar presença de água (NA), deverão ser feitas 04 medidas da altura do N.A para verificação de sua variação que é um dado importante para análise, por parte do projetista, para se determinar a solução de drenagem mais adequada para o local:

- 1ª medição no momento da execução da sondagem;
- 2ª medição 24 horas após a 1ª leitura;
- 3ª medição 48 horas após a 1ª leitura;
- 4ª medição 72 horas após a 1ª leitura.

Após a execução do furo de sondagem e a identificação do NA e realizada a 1ª leitura, deverá ser colocada sobre a abertura do furo uma proteção (tamponar) para impedir que sejam jogados materiais que possam comprometer as leituras seguintes. Estas leituras são importantes, pois caso haja uma variação brusca significativa da altura do NA entre a 1ª leitura e 4ª leitura, somente a implantação do dreno profundo longitudinal não resolverá o problema, ou seja, a solução de dreno profundo longitudinal somente será insuficiente para proteção do pavimento. Nos casos onde for verificada nas leituras uma variação brusca do NA, a solução para proteção da estrutura do pavimento deverá ser colchão drenante (camada bloqueadora), mais os drenos profundos longitudinais nas laterais que irão trabalhar, além de coletores das águas do colchão drenante, também como interceptadores das águas provenientes do lençol freático no corte.

- Solicitar o ensaio de granulometria por sedimentação do solo para fins de estudo da faixa granulométrica ideal do material de enchimento da vala do dreno profundo longitudinal. Este estudo faz-se necessário principalmente nos segmentos onde serão projetados drenos profundos longitudinais, com a indicação de areia para enchimento da vala. A areia a ser indicada no projeto deverá ter uma faixa granulométrica que tenha permeabilidade suficiente para interceptar e escoar um determinado volume de água, porém não deve permitir a realização do fenômeno de erosão interna do solo, causada pelo deslocamento da água em material poroso, cujos vazios sejam maiores que as partículas do solo. Vê-se facilmente, portanto, que a granulometria do filtro está estreitamente ligada à do solo a ser drenado.

- O material filtrante será definido segundo estudos de BERTRAN – TERZAGHI, devendo atender as relações de permeabilidade e piping, e serem isentos de impurezas orgânicas e torrões de argila. Como material drenante, poderão ser utilizados produtos resultantes da britagem e classificação de rocha sã, areias e pedregulhos naturais ou seixos rolados, desde que isentos de impurezas orgânicas e torrões de argila.

- O dreno profundo sem selo é indicado quando a etapa construtiva do pavimento é realizada imediatamente após a execução do dreno profundo. Caso haja uma descontinuidade nas etapas construtivas, o que é muito comum, recomenda-se a utilização do dreno profundo com selo, a fim de evitar que o material filtrante e/ou drenante fique exposto às intempéries e corra o risco de ser contaminado por solo carregado pela chuva ou até mesmo por poeira.

- A vala do dreno, quando o solo for de predominância siltosa ou arenosa e o material de enchimento for de brita, deverá ser envolvido com manta geotêxtil não tecida, que terá a finalidade de formar um pré-filtro de forma a impedir o carregamento de partículas do solo para dentro do dreno, garantindo a sua eficácia. É indicado nos locais com presença de N.A.

- Quando o solo na vala de escavação do dreno profundo longitudinal, no corte, for constituído por solo puramente argiloso, não haverá necessidade da utilização de manta geotêxtil não tecida para trabalhar como pré-filtro, pois se trata de solo coesivo onde não haverá perda e carregamento de finos no escoamento do fluxo do lençol freático em quantidade que possa causar a sua colmatação (preenchimento dos vazios do material drenante da vala por partículas finas de solo, reduzindo e até mesmo eliminando a sua permeabilidade).

- O material do selo será constituído de solo predominantemente argiloso.

Já nos casos de restauração, além dos ensaios citados acima, pode-se recorrer aos resultados das medições das deflexões e ao inventário da superfície do pavimento, além das condições visuais e do histórico do pavimento, que irão ajudar bastante na análise do diagnóstico, já que os defeitos associados ao excesso de umidade poderão nortear na escolha de soluções, sendo algumas delas possivelmente ligadas à drenagem subterrânea ou profunda.

Os materiais empregados na execução dos drenos profundos diferenciam-se de acordo com as suas funções, podendo ser dos seguintes tipos:

- Materiais filtrantes: areia, agregados britados, geotêxtil, etc. Sua função é a de permitir o escoamento da água sem carrear finos e conseqüentemente evitar a colmatção do dreno.
- Materiais drenantes: britas, cascalho grosso lavado, etc. Sua função é a de captar e ao mesmo tempo conduzir as águas a serem drenadas, devendo apresentar uma granulometria adequada à vazão escoada.
- 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, quando então são chamados de "drenos cegos".

O Álbum de Projetos-tipo de Dispositivos de Drenagem do DNIT (BRASIL, 2018) relaciona pelo menos oito tipos de drenos longitudinais profundos para corte em solo e cinco tipos para corte em rocha, conforme pode-se notar nas figuras 3.2 e 3.3.

Nota-se, na primeira figura, que os modelos DPS-01 a DPS-04 são preenchidos com material filtrante e contam com tubo de PVC ou PEAD, sendo que o DPS-01 e o DPS-03 são providos de selos de argila no topo, ao passo que os modelos DPS-03 e DPS-04 tem seus tubos envolvidos com material de proteção.

Por sua vez, os modelos DPS-05 a DPS-08 são preenchidos com material drenante envoltos com geotêxtil, contando com tubulação de PEAD ou concreto apenas nos modelos DPS-07 e DPS-08. Já os modelos DPS-07 e DPS-05 são providos sem selo de argila no seu topo.

Na segunda figura, aparecem os modelos de drenos longitudinais profundos propostos para cortes em material de 3ª categoria. Os modelos DPR-01 a DPR-04 são preenchidos com material drenante, ao passo que o modelo DPR-05, em material filtrante. Os modelos DPR-01, DPR-02 e DPR-05 são providos de tubulação, enquanto os demais são cegos.

Para proporcionar o adequado deságue dos drenos DPSs ou dos drenos DPRs, recomenda-se adotar bocas de saída, podendo ser do modelo BSD-01 ou BSD-02, tal como mostra a figura 3.4

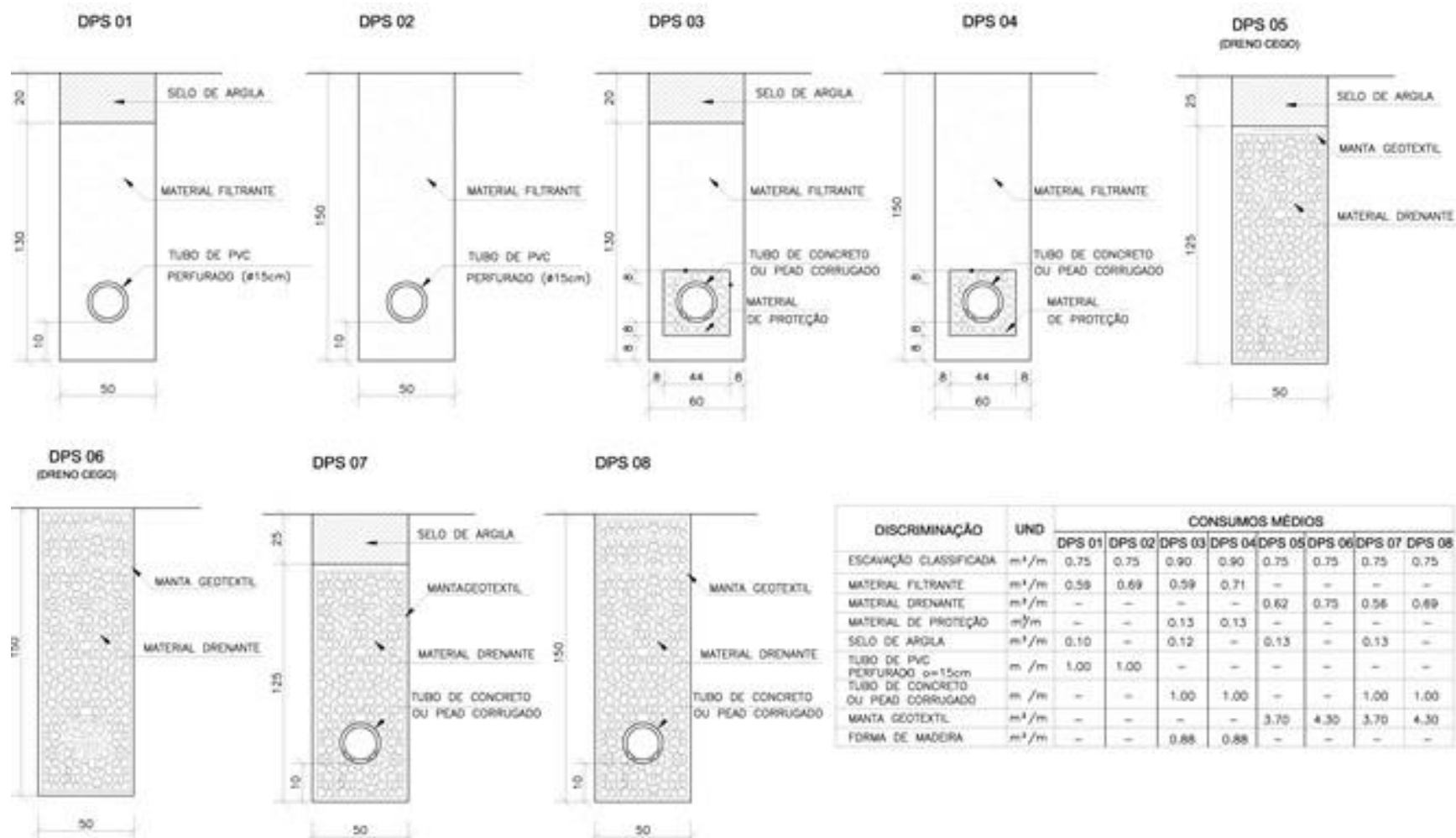


Figura 3.2 – Modelos de drenos longitudinais profundos para corte em solo catalogados no DNIT (BRASIL, 2018).

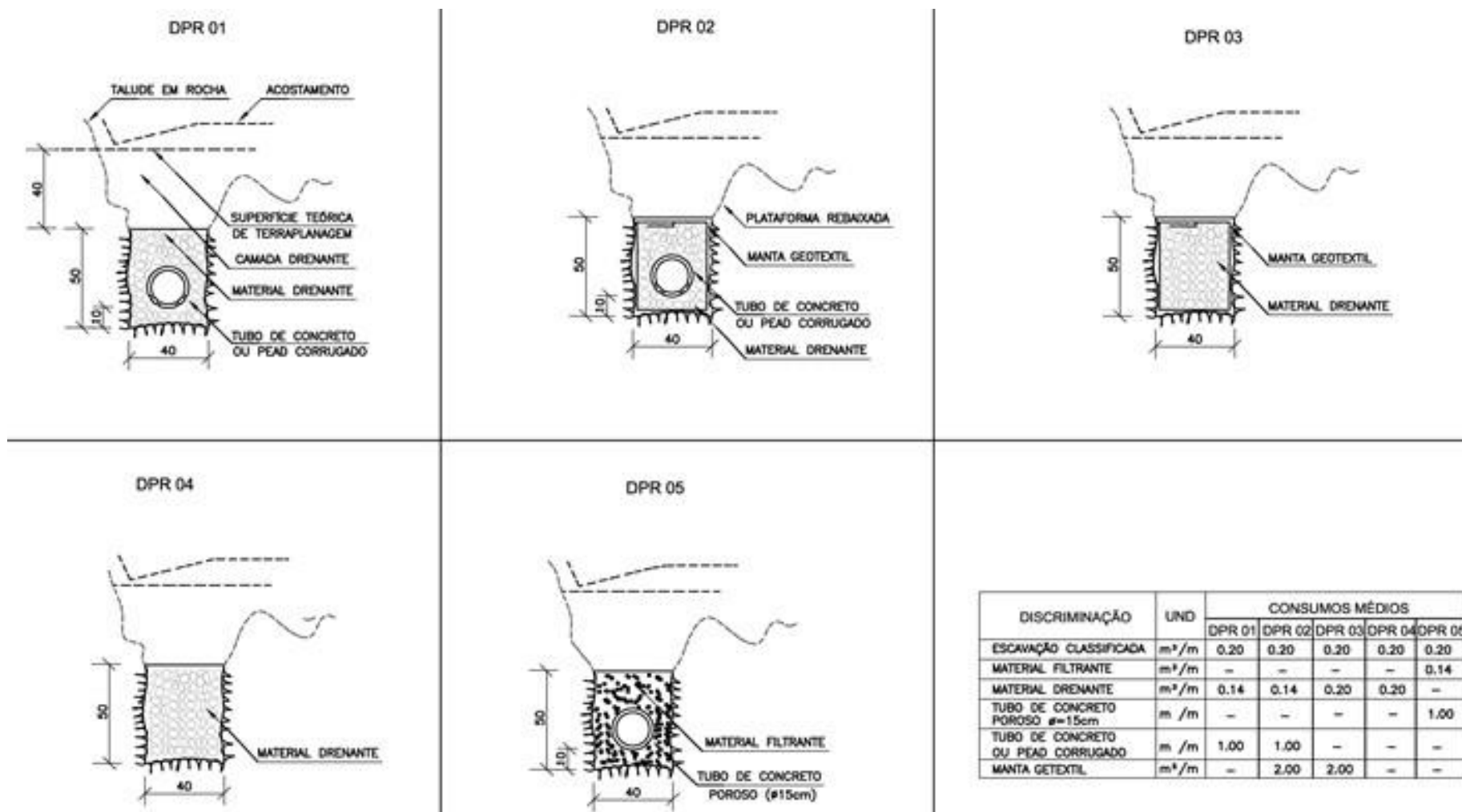


Figura 3.3– Modelos de drenos longitudinais profundos para corte em rocha catalogados no DNIT (BRASIL, 2018).

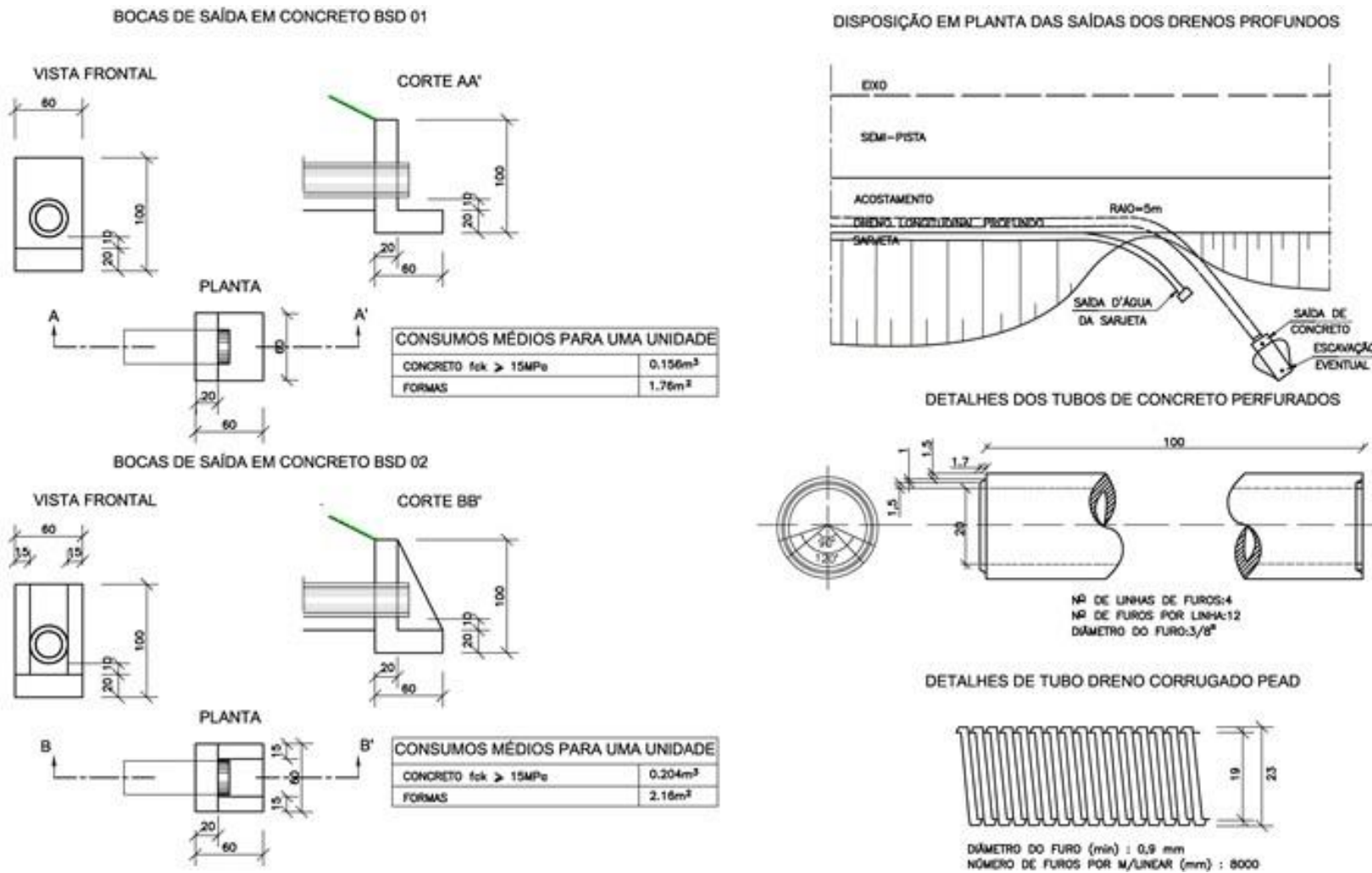


Figura 3.4– Modelos de bocas de saída para drenos profundos catalogados no DNIT (BRASIL, 2018)

A seguir são apresentados alguns casos de aplicação de drenos profundos em obras de infraestrutura rodoviária, como pode ser visualizado nas figuras 3.5 a 3.7.



Figura 3.5 – Implantação de dreno tipo DPS-02 nas obras de duplicação da BR-304/RN. (Fonte: Próprio autor).



Figura 3.6 – Implantação de dreno tipo DPS-02 nas obras de duplicação da BR-304/RN. (Fonte: Próprio autor).



Figura 3.7 – Implantação de dreno longitudinal profundo com material drenante. (Fonte: Notas de aula, JABÔR).

Além dos modelos de drenos profundos catalogados no DNIT, vale a pena destacar outros tipos de dispositivos comercializados em nosso país e com uso já consolidado nas obras de infraestrutura, como é o caso do MacDrain, desenvolvido pela empresa MACCAFERRI.

Trata-se de geocompostos formados por um núcleo drenante, ligado termicamente a um ou dois geotêxteis, que podem ser não tecidos calandrados e agulhados, ou laminados com um filme impermeabilizante.

Dentre os tipos de dispositivos que compõem a família MacDrain, pode-se destacar o MacDrain Trincheira Drenante (TD), que corresponde a um dreno sintético que é capaz de captar, conduzir e escoar o excesso de água proveniente da chuva, sistemas de irrigação, rebaixar o lençol freático, dentre outros. Sua instalação é simples e prática, pois já traz incorporada uma bolsa com guia para acondicionamento do tubo dreno (adquirido à parte), sendo necessário somente a abertura da vala (que costuma ser feita com uma valetadeira), posicionamento do dreno e o reaterro para a construção do sistema drenante. Alguns casos de aplicação deste dispositivo podem ser visualizados nas figuras 3.8 e 3.9.



Figura 3.8 – MacDrain TD aplicado na SP-323, Bebedouro/SP. (Fonte: MACCAFERRI / Concessionária Tebe).

A quantidade, o tipo e a localização dos drenos são objeto de dimensionamento, o que foge ao escopo deste manual, mas algumas sugestões para sua implantação podem ser encontradas em algumas bibliografias, como é o caso da publicação *Drenagem dos Pavimentos de Rodovias e Aeródromos* (CEDERGREN, 1980), conforme pode ser visualizado na figura 3.10.

Em 3.10 (a), a estrutura foi provida de um dreno longitudinal ao longo do bordo esquerdo, para controlar a percolação proveniente do terreno lateral elevado. Em 3.10 (b), que traz um exemplo de rodovia simples, situada abaixo do nível d'água normal, requer drenos longitudinais relativamente profundos em ambos os lados, para assegurar adequado controle do lençol freático. Já em 3.10 (c), que traz um exemplo de pista dupla com múltiplas faixas, há necessidade de três linhas de drenos longitudinais para evitar que o lençol d'água se eleve e penetre na estrutura.



Figura 3.9 – MacDrain TD aplicado na Rodovia Transbrasiliana, Lins/SP. (Fonte: MACCAFERRI / Concessionária Via Rondon).

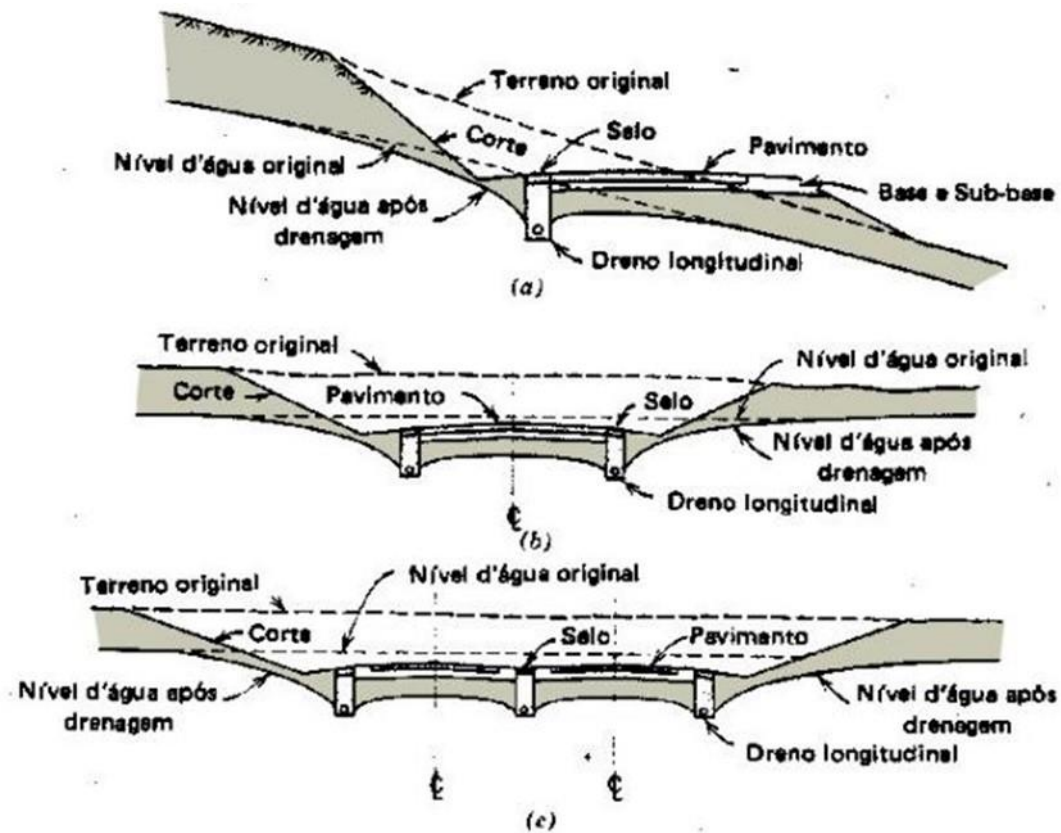


Figura 3.10 – Recomendação para disposição de drens longitudinais profundos. (a) – construção em meia encosta; (b) - rodovia estreita, em terreno plano; (c) – rodovia larga, em terreno plano. (Fonte: CEDERGREN, 1980).

TOME NOTA

Mais informações podem ser consultadas em <https://www.maccaferri.com/br/produtos/geocomposto-macdrain/macdrain-td/>

3.2 DRENO ESPINHA DE PEIXE

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

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

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, como também nos aterros onde o solo natural for impermeável.

Conforme as condições existentes, podem desaguar livremente ou em drenos longitudinais, conforme pode-se ver na figura 3.11.

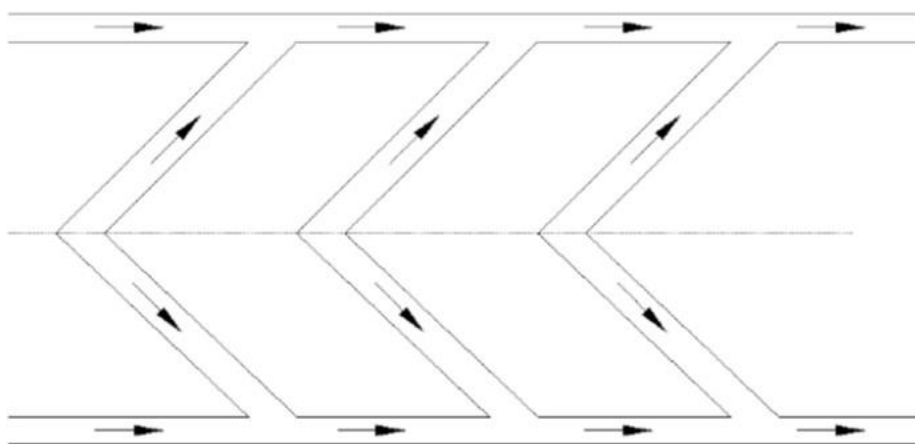


Figura 3.11 – Geometria usual de drenos espinhas de peixe, com descarga em drenos longitudinais. (Fonte: BRASIL, 2006).

Alguns autores sugerem disposição diferente para as “espinhas” do dreno. Na figura 3.12, percebe-se que, a partir do eixo, há um afastamento de “L/2” entre drenos, alternadamente. Nesta figura, há uma tabela com recomendação para o ângulo α (formado entre o eixo da rodovia e o eixo da “espinha”) e para o espaçamento L (entre as “espinhas”), função da declividade longitudinal do greide da rodovia, i %.

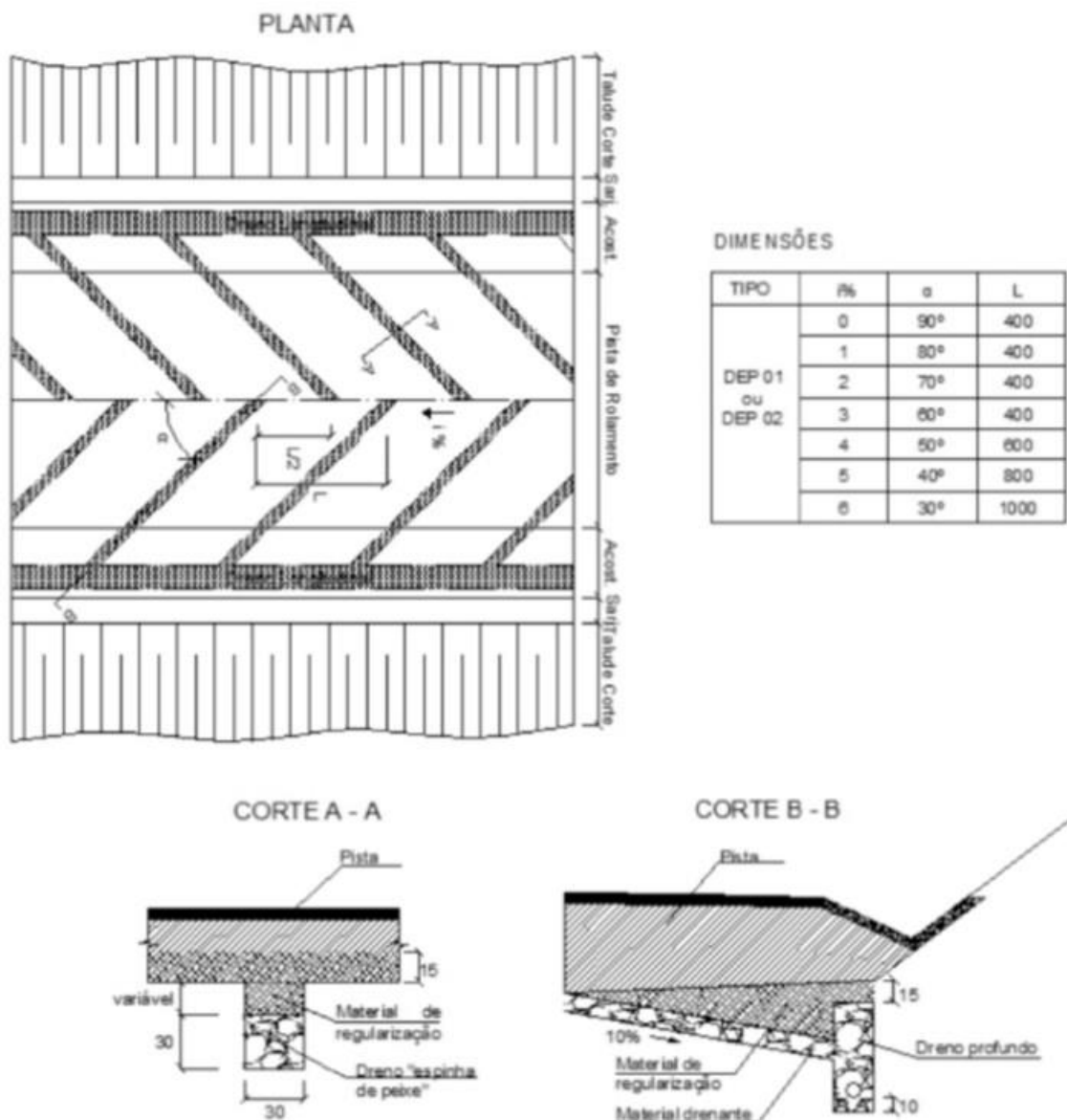


Figura 3.12 – Geometria com espaçamento entre as “espinhas”, descarregando em lados alternados. (Fonte: JABÔR, 2019).

A fim de ilustrar alguns casos de aplicação de drenos espinhas de peixe, são apresentadas as figuras 3.13 e 3.14.



Figura 3.13 – Dreno espinha de peixe instalado em rodovia de Minas Gerais. (Fonte: Notas de aula, JABÔR).



Figura 3.14 – Dreno espinha de peixe instalado em campo de futebol.

3.3 COLCHÃO DRENANTE

O objetivo do colchão drenante é drenar as águas situadas a pequena profundidade do corpo estradal e seu emprego será recomendado quando o volume não possa ser drenado pelos drenos "espinha de peixe".

O emprego de colchão drenante é recomendado nos seguintes casos:

- Nos cortes em rocha;
- Nos cortes onde o lençol freático estiver próximo ao greide de terraplenagem;
- Na base dos aterros onde houver água livre próximo ao terreno natural; e
- Nos aterros constituídos sobre terrenos impermeáveis.

Quando houver necessidade de alívio ou descarga das águas que por eles fluem, devem ser implantados drenos profundos.

Para exemplificar alguns casos de aplicação destes dispositivos em obras de infraestrutura, são apresentadas as figuras 3.15 e 3.16.



Figura 3.15 – Colchão drenante de areia executado junto a trecho com ocorrência de material de 3ª categoria nas obras de duplicação da BR-304/RN. (Fonte: Próprio autor).



Figura 3.16 – Colchão drenante de areia executado junto de trecho com surgência de água no subleito, nas obras de duplicação da BR-304/RN. (Fonte: Próprio autor).

Uma situação particular para a qual deve-se fazer destaque, diz respeito a obras de duplicação, onde pode ocorrer a descoberta de colchão drenante sob a plataforma existente, no momento de sua escavação. Assim, ainda que as condições verificadas em campo não ensejem a aplicação de um colchão drenante, se este for encontrado na plataforma existente, é recomendável que esta camada seja estendida sob a nova plataforma que será implantada ao lado, ou então se preveja outro dispositivo de drenagem profunda, a exemplo de um dreno profundo longitudinal, para fazer a captação e lançamento da água que flui dentro dela, evitando seu confinamento por ocasião de construção da nova plataforma adjacente, como pode ser notado na figura 3.17.



Figura 3.17 – Colchão drenante de areia encontrado sob a plataforma existente na BR-304/RN. (Fonte: Próprio autor).

3.4 DRENO HORIZONTAL PROFUNDO - DHP

Os drenos sub-horizontais são normalmente instalados nos taludes de corte ou aterro, no sentido ortogonal ao eixo da plataforma, visando proporcionar o escoamento das águas retiradas dos maciços, com o objetivo de aliviar o empuxo e evitar o comprometimento da sua estabilidade, tal como pode ser visualizado na figura 3.18.



Figura 3.18 – Esquema de DHP instalado em talude de corte.

Os DHPs ajudam a prevenir e corrigir o escorregamento de taludes onde a causa determinante da instabilidade é a elevação do nível do lençol freático ou do nível piezométrico de lençóis confinados, sendo em muitos casos a solução mais

vantajosa, do ponto de vista econômico, a se recorrer. Eles captam as águas evitando que aflorem ou mesmo se aproximem das faces dos taludes, tal como pode ser observado na figura 3.19.



Figura 3.19 – Aflorescimento de água nas faces de talude de corte em trecho da Ferrovia Norte-Sul, junto de Mara Rosa/GO. (Fonte: próprio autor).

Os drenos sub-horizontais são constituídos por tubos providos de ranhuras ou orifícios na sua parte superior, envolvidos com manta geotêxtil ou por tela de nylon, introduzidos em perfurações executadas na parede do talude, com ângulo de inclinação de aproximadamente 5° em relação à horizontal. Os tubos são normalmente de $1\frac{1}{4}$ " a 2" e os orifícios são abertos nos maciços com $2\frac{1}{2}$ " a 4". Alguns destes detalhes são apresentados na figura 3.20, que inclusive representa o modelo de dispositivo catalogado no Álbum de Projetos-tipo de Dispositivos de Drenagem do DNIT (BRASIL, 2018).

A figura 3.21 traz o detalhe de um dreno sub-horizontar típico. Seu tubo drena a água do lençol, aliviando as pressões nos poros e/ou mudando a direção do fluxo d'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 (BRASIL, 2006).

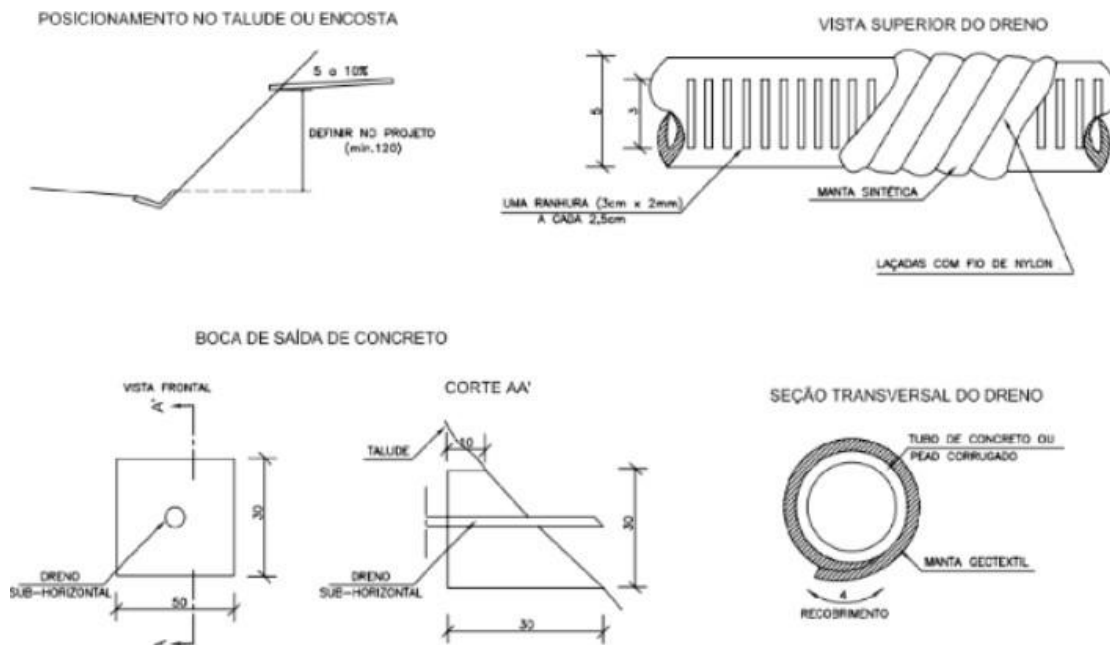


Figura 3.20 – Projeto-tipo de DHP proposto pelo DNIT. (Fonte: BRASIL, 2018).

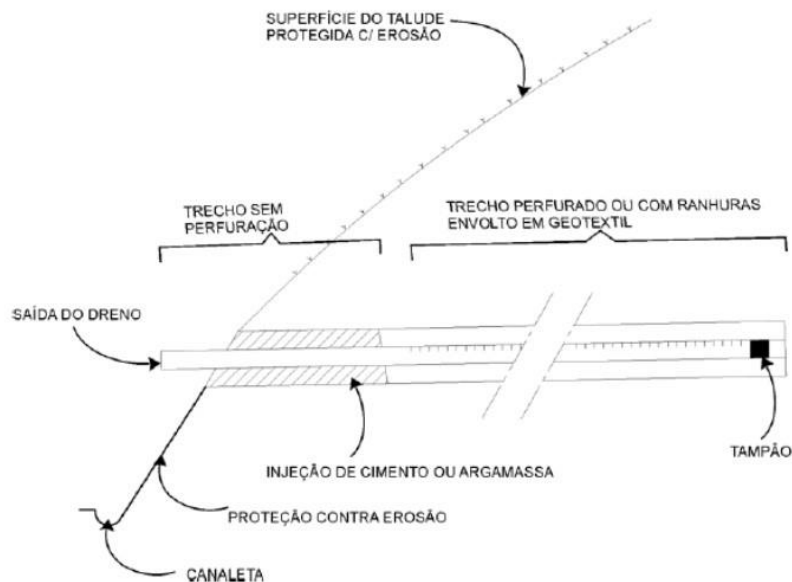


Figura 3.21 – Elementos de um dreno sub-horizonta. (Fonte: BRASIL, 2006).

De acordo com o Manual de Drenagem de Rodovias, 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:

- Rochas ou solos heterogêneos com relação à permeabilidade;
- Materiais essencialmente homogêneos com relação à permeabilidade;
- 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, como normalmente ocorre em rochas sedimentares ou metamórficas fraturadas (gnaiesses bandeados, por exemplo), sendo necessário levantar o sistema de faturamento 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.

A quantidade e espaçamento entre tubos é resultado de dimensionamento, mas este assunto foge ao escopo deste manual, razão pela qual não serão apresentados maiores detalhes aqui. Mas, caso o aluno tenha interesse no aprofundamento, poderá encontrar mais detalhes no Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT.

Com relação ao processo de execução, pode-se destacar que os DHPs são executados por processo semelhante ao utilizado nos poços para rebaixamento do lençol freático, sendo que a sua instalação ocorre na direção horizontal. A técnica executiva deve passar pelos seguintes passos:

- Preparação e montagem do DHP;
- Perfuração do maciço;
- Instalação do tubo;
- Ligação do DHP com a rede de drenagem existente e tamponamento do furo com selo de argila ou argamassa;
- Manutenção e limpeza periódica do dreno.

Dentre os processos de escavação e cravação dos drenos sub-horizontais, vale a pena destacar o processo de rotopercussão e a sonda rotativa.

De acordo com Jabôr (2019), o processo de rotopercussão consiste da seguinte sequência:

- É executado um furo no terreno, usando uma perfuratriz a rotopercussão com broca de “3”. Este equipamento permite a execução de furos com até 25,0 m de comprimento, sem revestimento.
- A perfuratriz deve ser provida de comandos independentes, sendo um para rotação, outro para percussão e o comando para avanço, sendo este último, geralmente hidráulico.
- O operador, que deverá ser altamente qualificado, deve coordenar as três operações para evitar o fechamento do furo. Além destas operações, ele deverá cuidar da regulagem da circulação da água para lavagem do furo.
- Após a execução do furo, de acordo com os itens anteriores, será introduzido o tubo, que deverá estar revestido com o geotêxtil.

Este tubo terá comprimento mínimo de 9,0 m, é composto de vários elementos com comprimento aproximado de 6,0 m, introduzidos sucessivamente no furo e colados entre si (ponta e bolsa) nas extremidades.

Durante a colocação de tubo, poderão ocorrer alguns desmoronamentos internos, sendo, então, necessário a retirada do tubo para que se introduza outro de menor diâmetro, e quando com esse processo não se conseguir limpá-lo, fura-se novamente com a perfuratriz.

O tempo necessário para a execução é de aproximadamente 06:00 horas por dreno.

Já no processo que faz uso de sonda rotativa, recomendado para terrenos com pouco suporte e onde o furo pode se fechar rapidamente, deve-se observar a seguinte sequência executiva:

- O furo é executado através de um processo rotativo com ferramenta cortante (vídia ou diamante). Tal equipamento permite, caso haja necessidade, a colocação de revestimento com diâmetro levemente superior ao do furo.
- A introdução do revestimento é feita também, pelo sistema rotativo, utilizando-se de ferramenta igualmente cortante.
- Após a execução do furo, de acordo com os itens anteriores, se o terreno permitir, retira-se o revestimento, sendo, então, necessário que o furo fique aberto por um período de 30 a 40 minutos, tempo suficiente para que se coloque o dreno.
- Caso o operador observe a necessidade de se colocar o dreno antes da retirada do revestimento por problemas de desmoronamento ou fechamento do furo, deve-se introduzir o dreno normalmente por dentro do revestimento e, posteriormente, retirar-se o revestimento, com cuidado para não danificar a tela e o geotêxtil.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Álbum de Projetos-tipo de Dispositivos de Drenagem**. Rio de Janeiro, IPR, 5 ed., DNIT, 2018.

BRASIL. **Manual de Drenagem de Rodovias**. Rio de Janeiro, IPR, 2 ed., DNIT, 2006.

CEDERGREN, Harry R. **Drenagem dos Pavimentos de Rodovias e Aeródromos**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, IPR, 1980.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de Rodovias: Estudos Hidrológicos e Projetos de Drenagem**. Apostila, 2019.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**. São Paulo, PINI, 2 ed. 2008.

SUZUKI, Carlos Yukio. AZEVEDO, Ângela Martins. KABBACH, Felipe Issa. **Drenagem Subsuperficial de Pavimentos: Conceitos e Dimensionamento**. São Paulo, Oficina de Textos, 2013.