ESTRADAS E AEROPORTOS

DRENAGEM SUPERFICIAL

Prof. Vinícius C. Patrizzi

DRENAGEM SUPERFICIAL

DRENAGEM SUPERFICIAL

- **OBJETIVOS**

- INTERCEPTAR AS ÁGUAS QUE POSSAM ATINGIR A PLATAFORMA VIÁRIA E CONDUZI-LAS PARA LOCAL ADEQUADO

- CONTROLE DE EROSÃO DOS TALUDES DE CORTE E ATERRO

DRENAGEM SUPERFICIAL

- **TIPOS**
  - VALETAS DE PROTEÇÃO DE CORTE/ATERRO
  - VALETAS DE BERMAS DE CORTE/ATERRO
  - SARJETAS DE PÉ DE CORTE/ATERRO
  - VALETAS DO CANTEIRO CENTRAL

- **CLASSIFICAÇÃO**

  - ***QUANTO À FORMA***

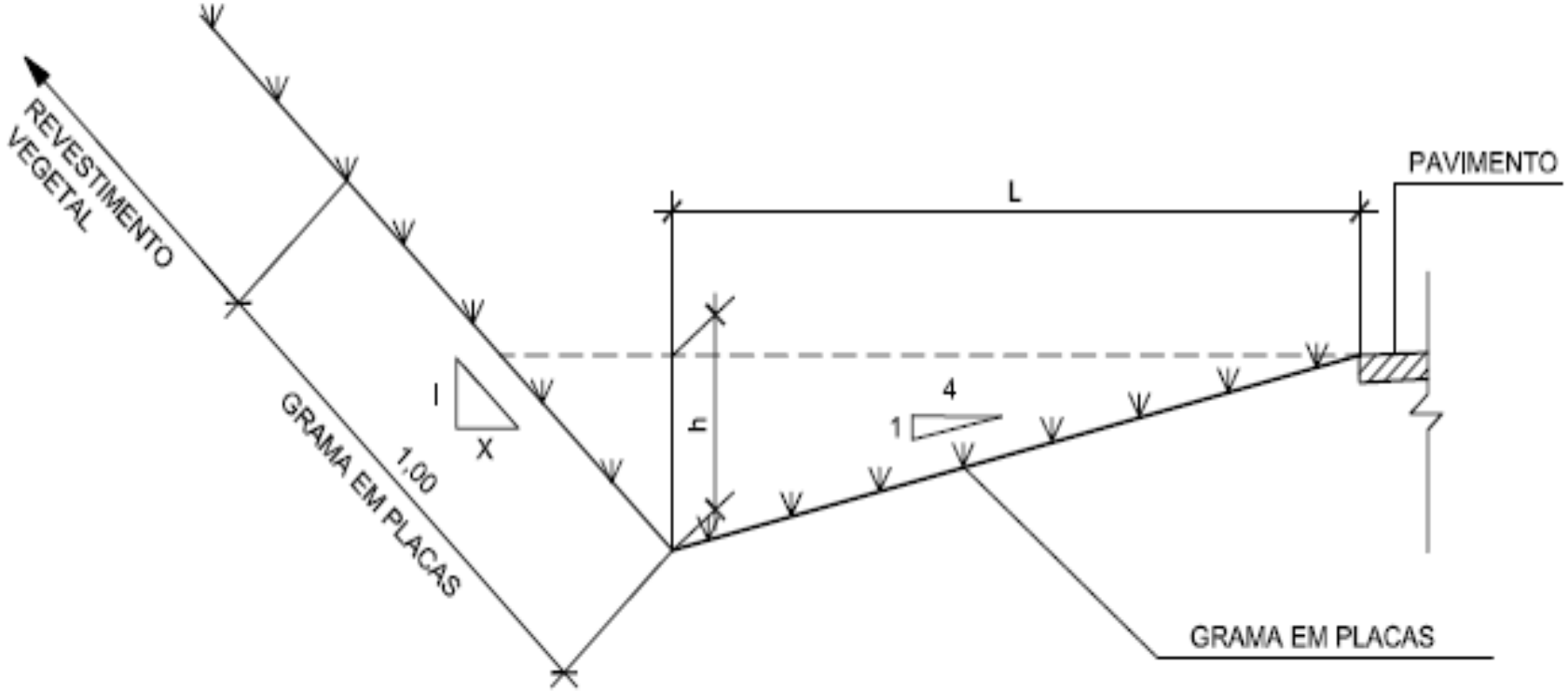
    MEIA CANA / TRIANGULAR / RETANGULAR / TRAPEZOIDAL

  - ***QUANTO AO REVESTIMENTO***

    GRAMA / CONCRETO / PEDRA MARROADA

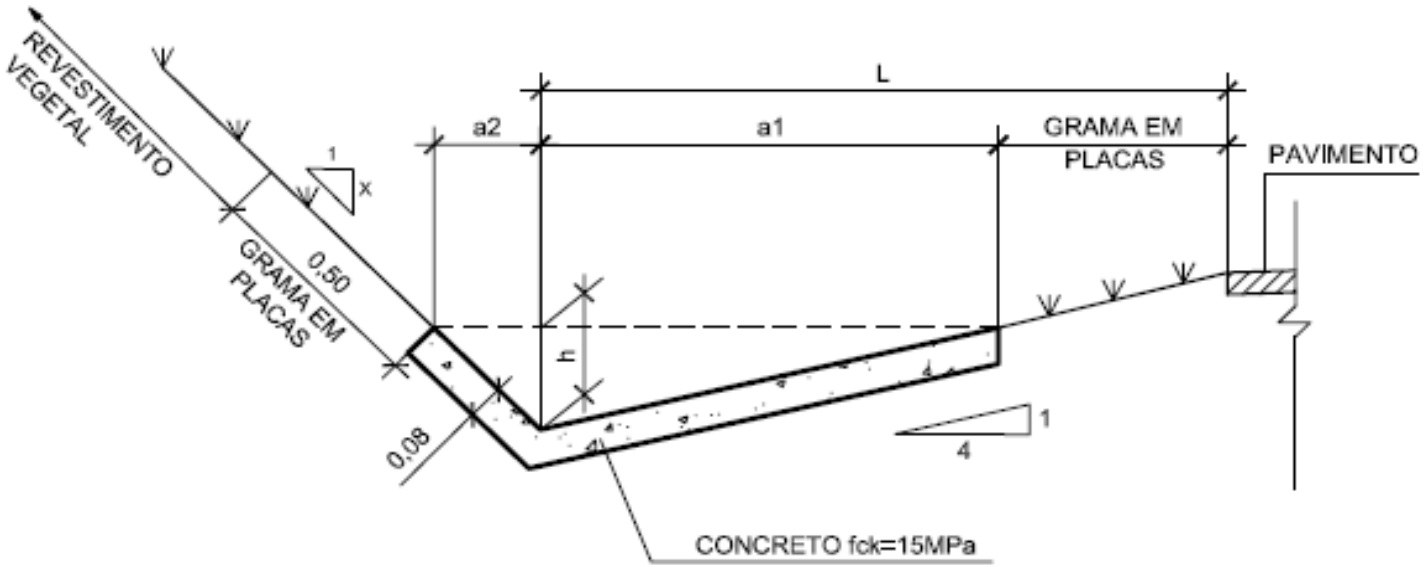
DR-1A
SARJETA TRIANGULAR DE CORTE

- REVESTIMENTO EM GRAMA EM PLACAS



DR-1B
SARJETA TRIANGULAR DE CORTE

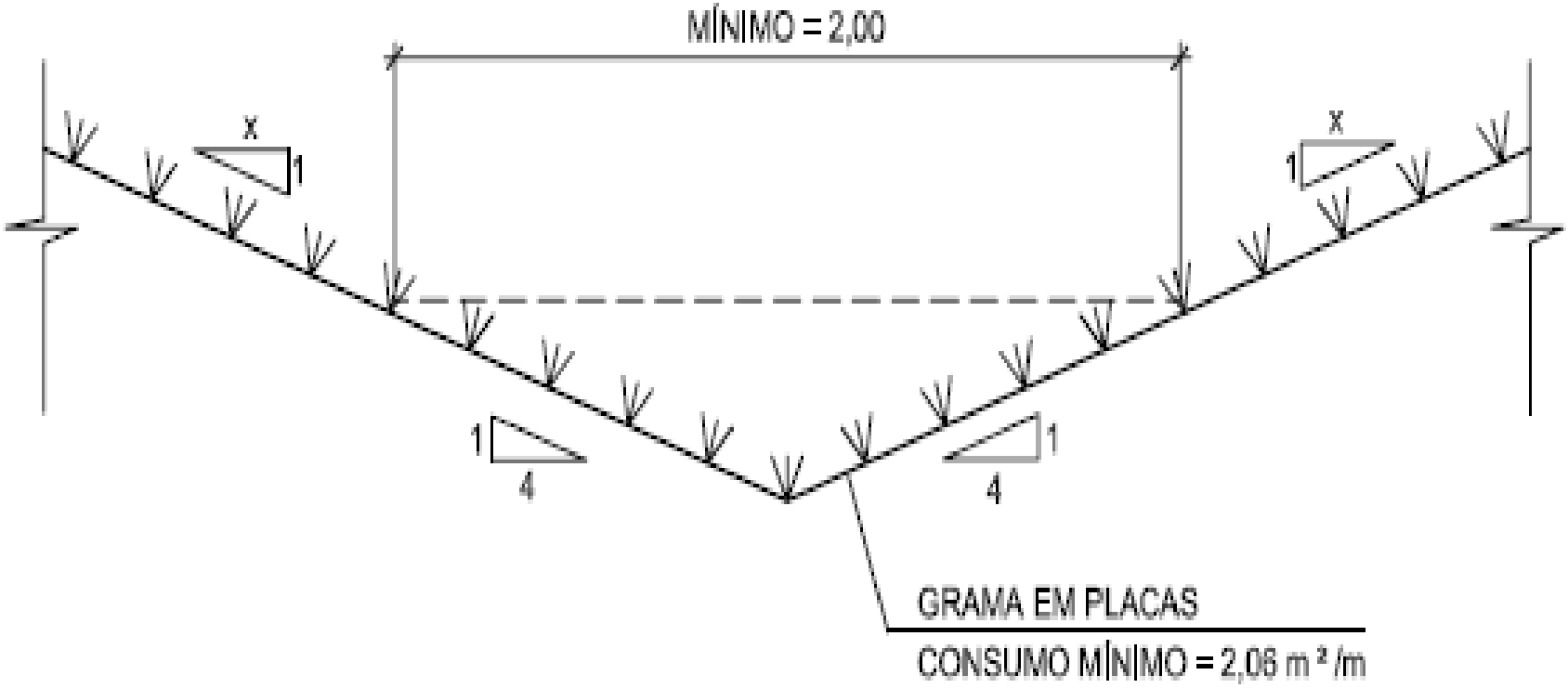
- REVESTIMENTO EM CONCRETO



TIPO	TALUDE X:1	DIMENSÕES (m)			CONSUMO MÉDIO		
		a1	a2	h	FORMAS m²/m	GRAMA EM PLACAS m²/m	CONCRETO fck=15 MPa (m³/m)
DR-1B-1	1,0	1,00	0,250	0,250	0,010	(L-0,50)	0,114
DR-1B-2	1,0	1,50	0,375	0,375	0,014	(L-1,00)	0,169
DR-1B-3	1,0	2,00	0,500	0,500	0,019	(L-1,50)	0,224
DR-1B-4	1,5	1,00	0,375	0,250	0,010	(L-0,50)	0,121
DR-1B-5	1,5	1,50	0,563	0,375	0,015	(L-1,00)	0,180
DR-1B-6	1,5	2,00	0,750	0,500	0,020	(L-1,50)	0,239

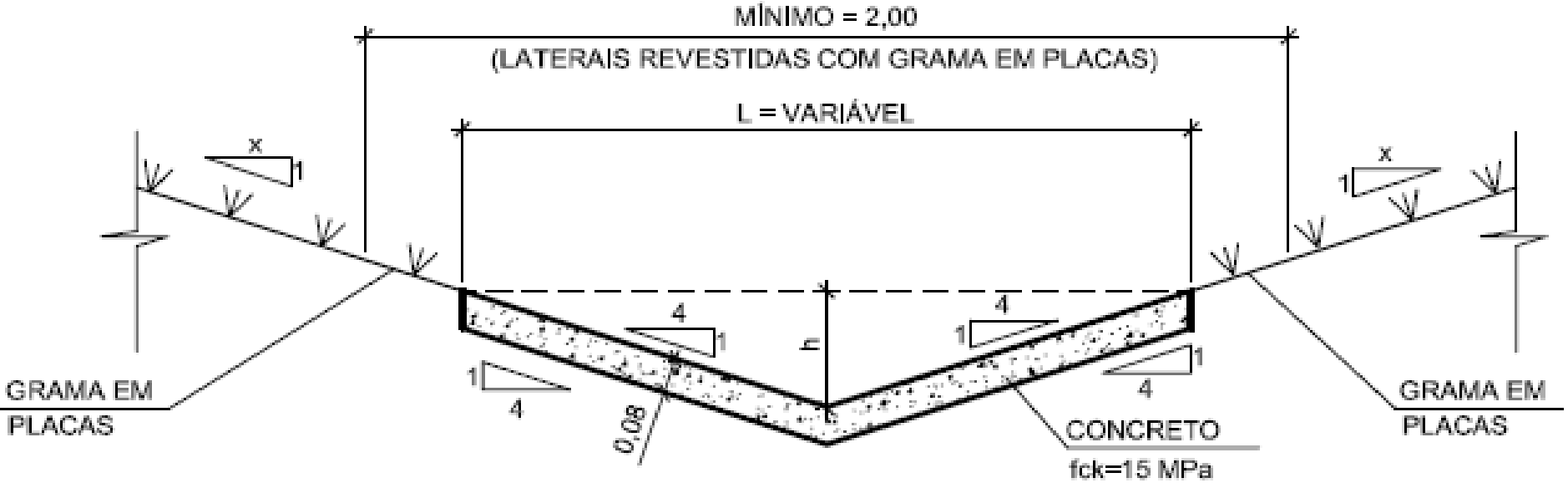
DR-2A
VALETA DE CANTEIRO CENTRAL

- REVESTIMENTO EM GRAMA



DR-2B
VALETA DE CANTEIRO CENTRAL

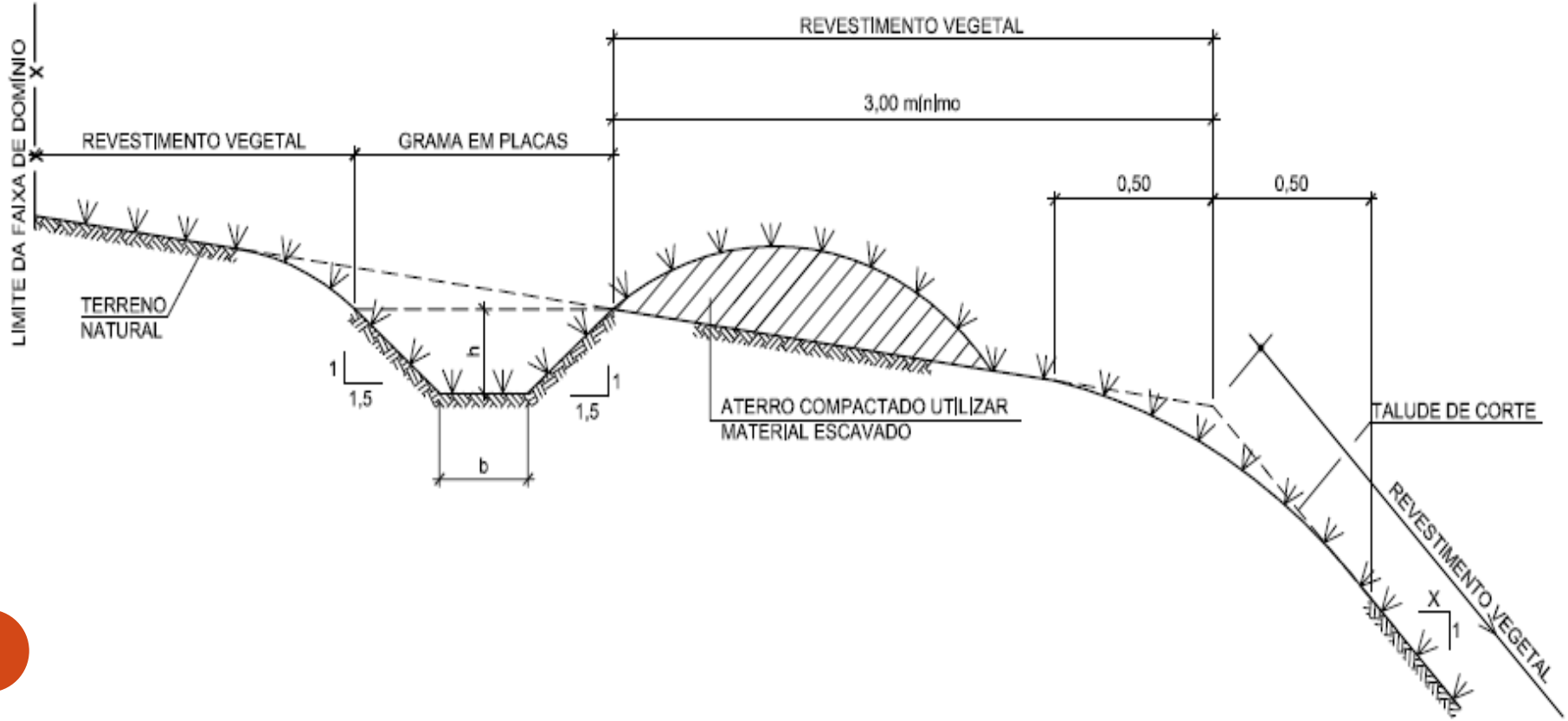
- REVESTIMENTO EM CONCRETO



TIPO	DIMENSÕES (m)		CONCRETO fck = 15 MPa (m ² /m)	GRAMA EM PLACAS (m ² /m)
	L	h		
DR-2B-1	1,20	0,15	0,100	0,82
DR-2B-2	1,60	0,20	0,132	0,41
DR-2B-3	2,00	0,25	0,165	-

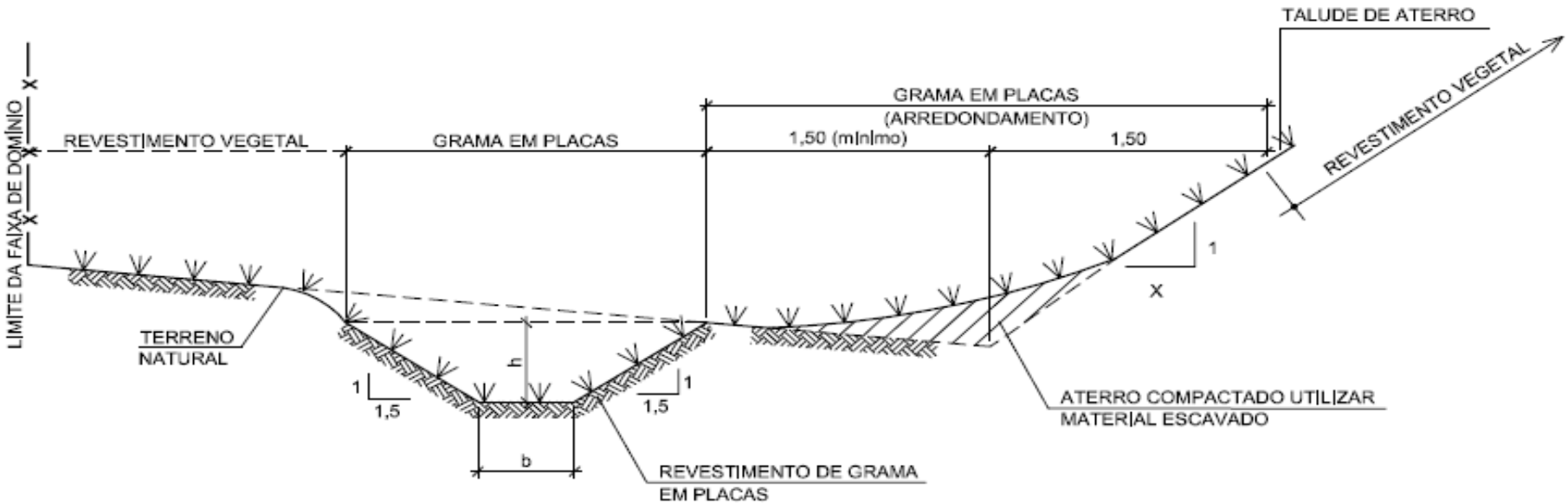
DR-3A
VALETA DE PROTEÇÃO TRAPEZOIDAL

- REVESTIMENTO EM GRAMA
- PROTEÇÃO DE CRISTA DE CORTE



DR-3A
VALETA DE PROTEÇÃO TRAPEZOIDAL

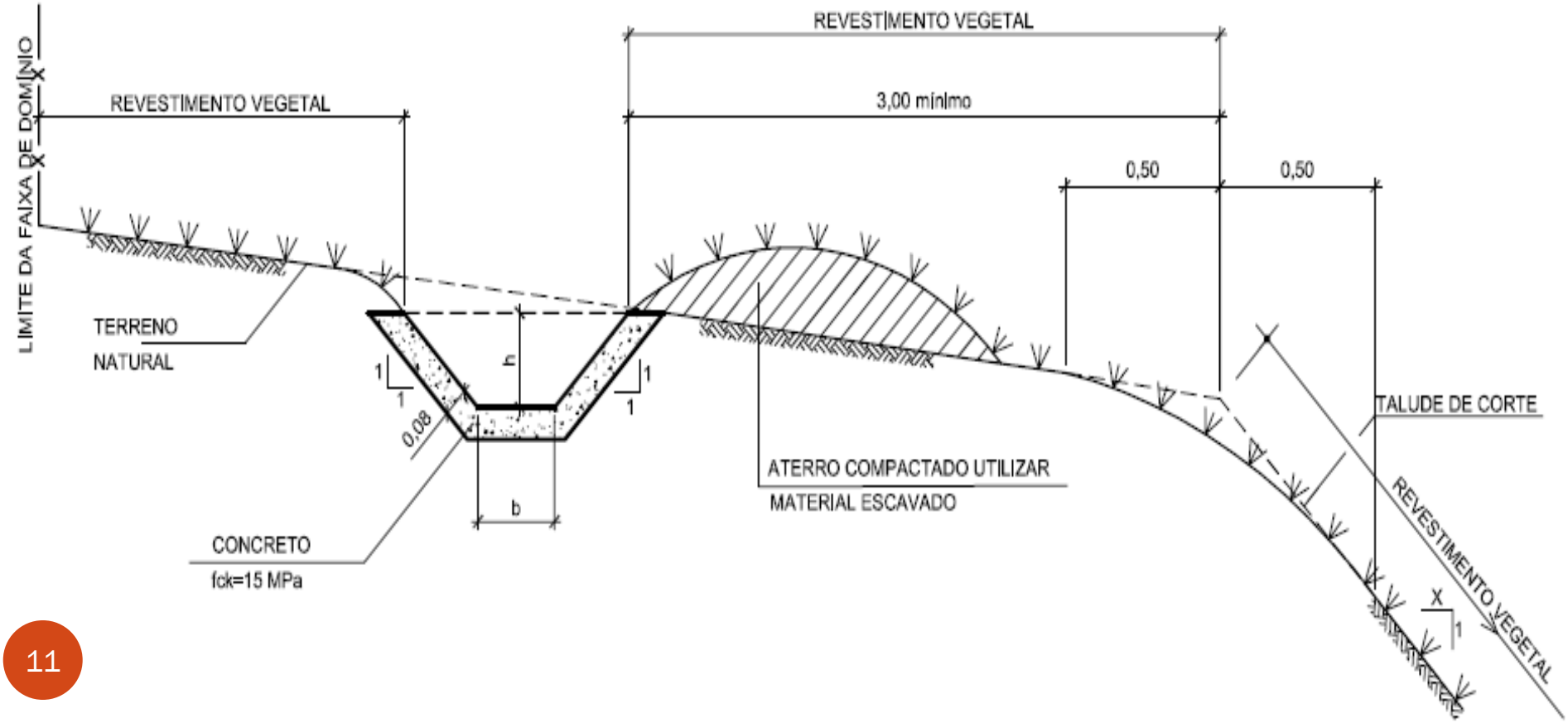
- REVESTIMENTO EM GRAMA
- PROTEÇÃO DE PÉ DE ATERRO



VALETAS REVESTIDAS COM GRAMA (TIPO)	b (m)	h (m)	ESCAVAÇÃO (m³ / m)	GRAMA EM PLACAS	
				VALETA (m² / m)	ARREDONDAMENTO (m² / m) MÍNIMO
DR-3A-1	0,40	0,40	0,400	1,842	3,000
DR-3A-2	0,70	0,40	0,520	2,142	3,000
DR-3A-3	1,00	0,40	0,640	2,442	3,000

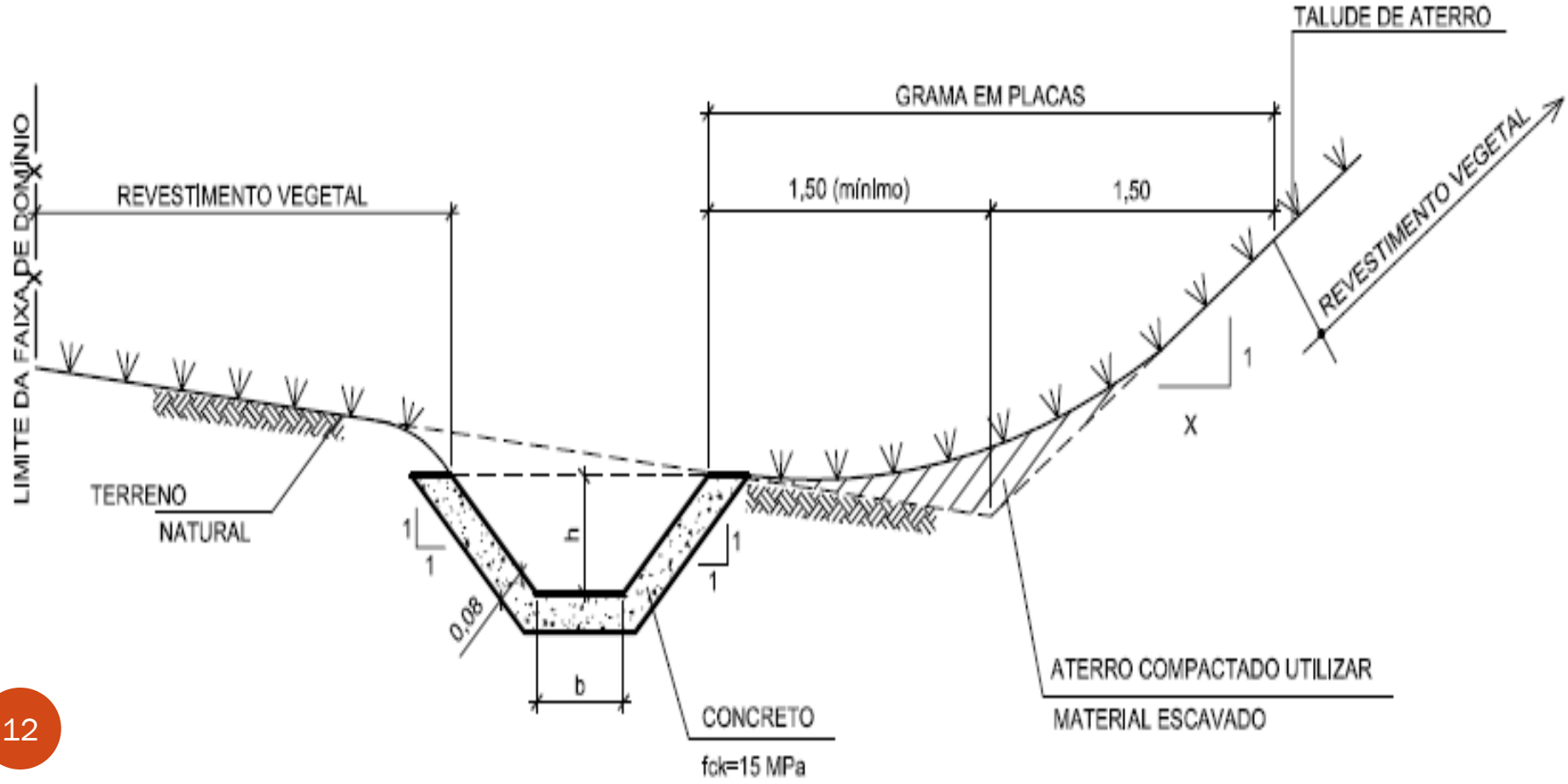
DR-3B
VALETA DE PROTEÇÃO TRAPEZOIDAL

- REVESTIMENTO EM CONCRETO
- PROTEÇÃO DE CRISTA DE CORTE



DR-3B
VALETA DE PROTEÇÃO TRAPEZOIDAL

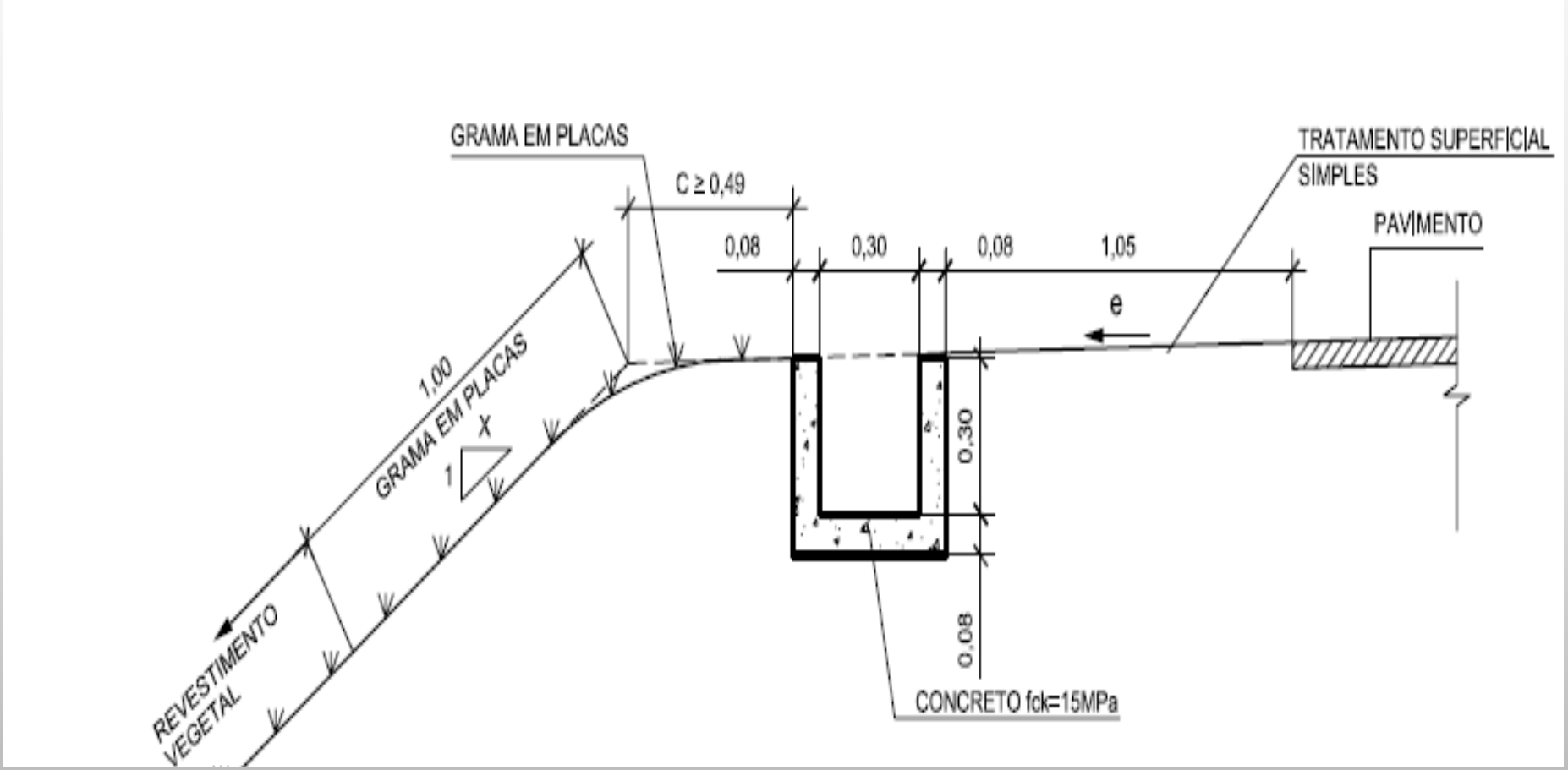
- REVESTIMENTO EM CONCRETO
- PROTEÇÃO DE PÉ DE ATERRO



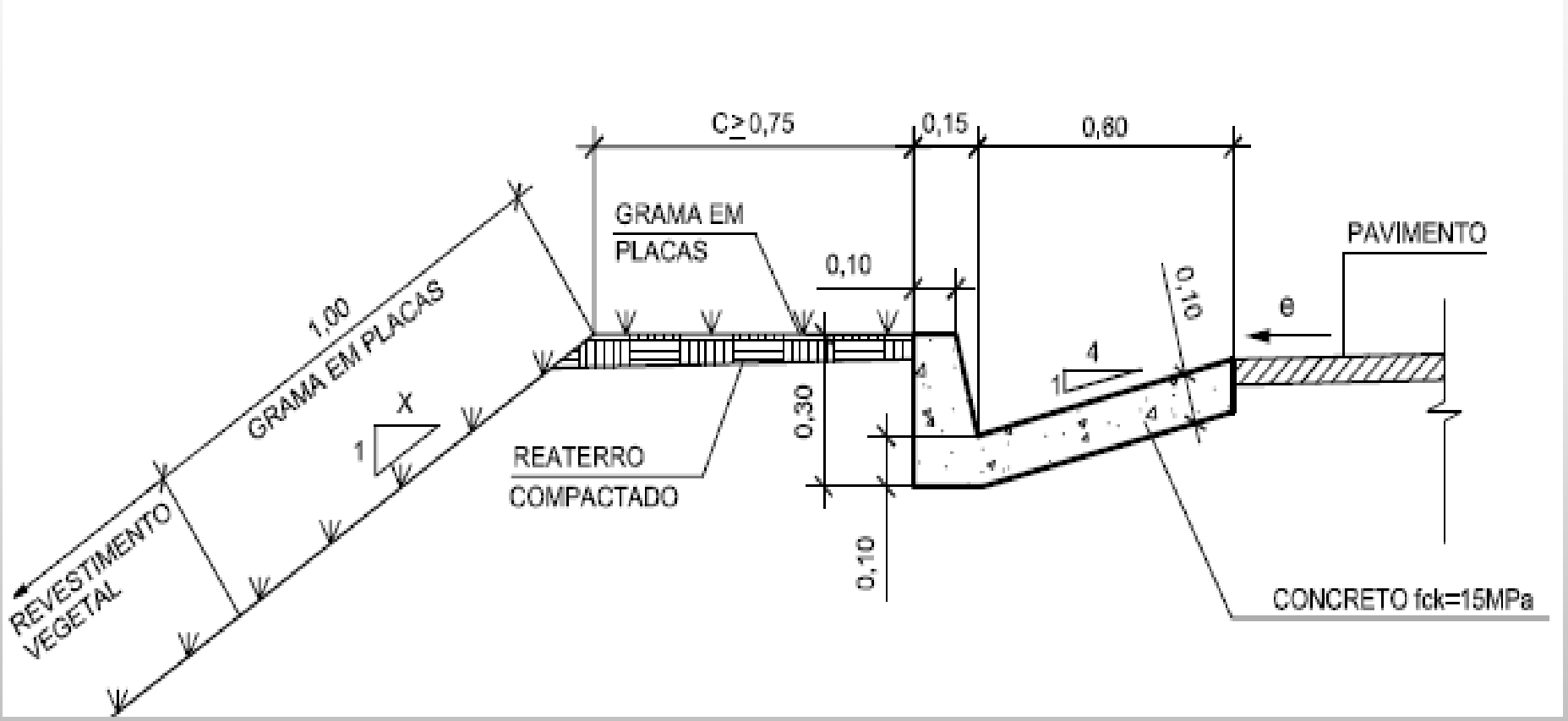
DR-3B
VALETA DE PROTEÇÃO TRAPEZOIDAL

VALETAS REVESTIDAS DE CONCRETO (TIPO)	b (m)	h (m)	QUANT./m	
			ESCAV. (m^3)	CONCR. 15 MPa (m^3)
DR-3B-1	0,20	0,20	0,153	0,073
DR-3B-2	0,30	0,20	0,181	0,081
DR-3B-3	0,30	0,25	0,230	0,092
DR-3B-4	0,30	0,30	0,284	0,104
DR-3B-5	0,40	0,30	0,322	0,112
DR-3B-6	0,40	0,35	0,386	0,123
DR-3B-7	0,40	0,40	0,455	0,134
DR-3B-8	0,50	0,40	0,503	0,142
DR-3B-9	0,50	0,45	0,581	0,154
DR-3B-10	0,50	0,50	0,666	0,165
DR-3B-11	0,60	0,50	0,723	0,173
DR-3B-12	0,60	0,55	0,817	0,184
DR-3B-13	0,60	0,60	0,916	0,195
DR-3B-14	0,80	0,55	0,943	0,200
DR-3B-15	0,80	0,60	1,052	0,211
DR-3B-16	1,00	0,60	1,188	0,227
CONSUMO MÍNIMO DE GRAMA EM PLACAS = 3,00 m^2 / m				

DR-5A
CANALETA RETANGULAR DE BORDA DE ATERRO



DR-6
SARJETA TRIANGULAR DE BORDA DE ATERRO



DRENAGEM SUPERFICIAL

- **DIMENSIONAMENTO**

  - VAZÃO DE ENTRADA – MÉTODO RACIONAL

(m³/s/m)

$$Q_e = \frac{C \times i \times A}{3{,}6}$$

C = Coeficientes de infiltração

C = 0,35 / 0,70 / 0,90

i = intensidade pluviométrica = f (tc, T)

tc = tempo de concentração = 5 minutos

T = período de retorno = 10 anos

A = seção de contribuição

DRENAGEM SUPERFICIAL

- **DIMENSIONAMENTO**
  - VELOCIDADE DE ESCOAMENTO – FÓRMULA DE MANNING

$$V = \frac{R_H^{2/3} \times I^{1/2}}{n} \qquad (\mathrm{m/s})$$

V = Velocidade

R_H = Raio Hidráulico

$$R_H = \frac{S}{P} = \frac{\text{Seção Molhada}}{\text{PerímetroMolhado}}$$

I = Declividade Longitudinal do Dreno

n = coeficiente de rugosidade

DRENAGEM SUPERFICIAL

- **DIMENSIONAMENTO**
  - VAZÃO DE SAÍDA – EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

$$Q_s = V \times S \quad (m^3/s/m)$$

  - CÁLCULO DO COMPRIMENTO CRÍTICO (L)

$$L = f(Qe, Qs)$$

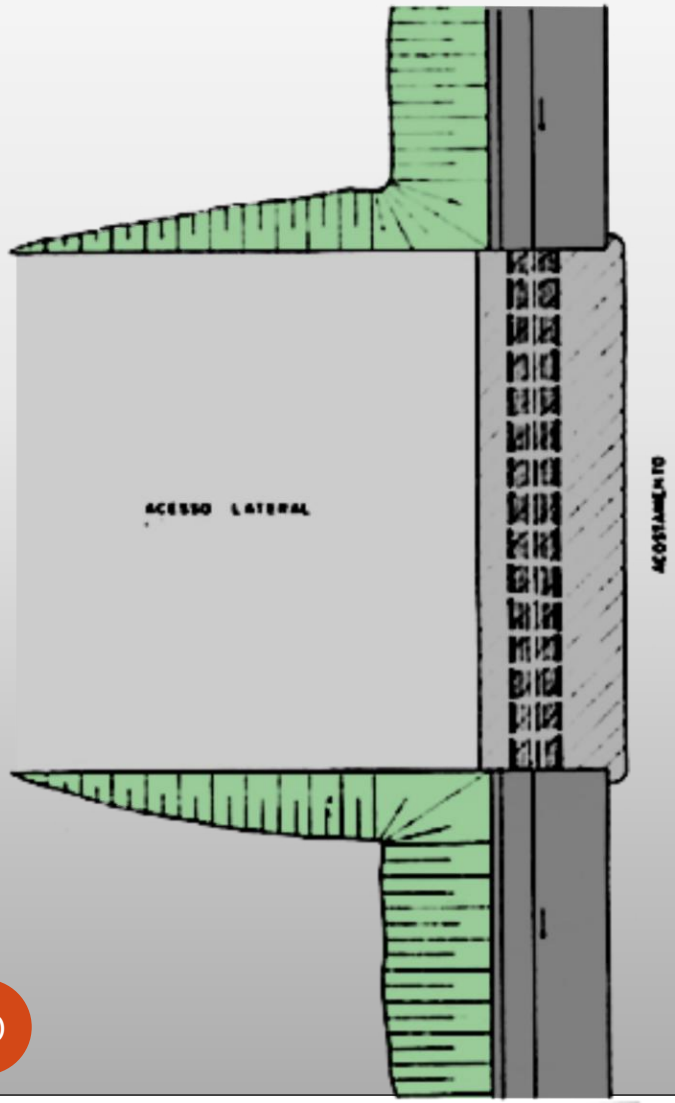
DISPOSITIVOS DE DRENAGEM

DRENAGEM SUPERFICIAL

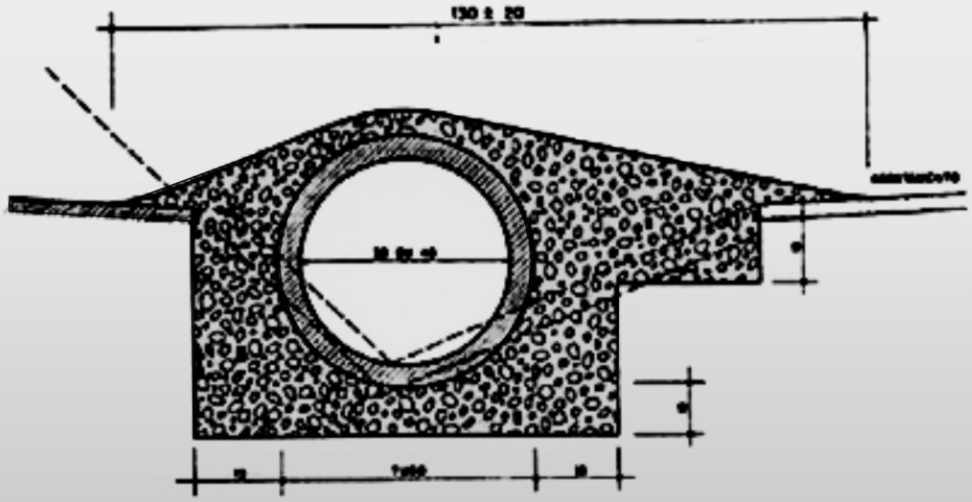
Transposição de Segmentos de Sarjeta

- *tubos de concreto*

PLANTA



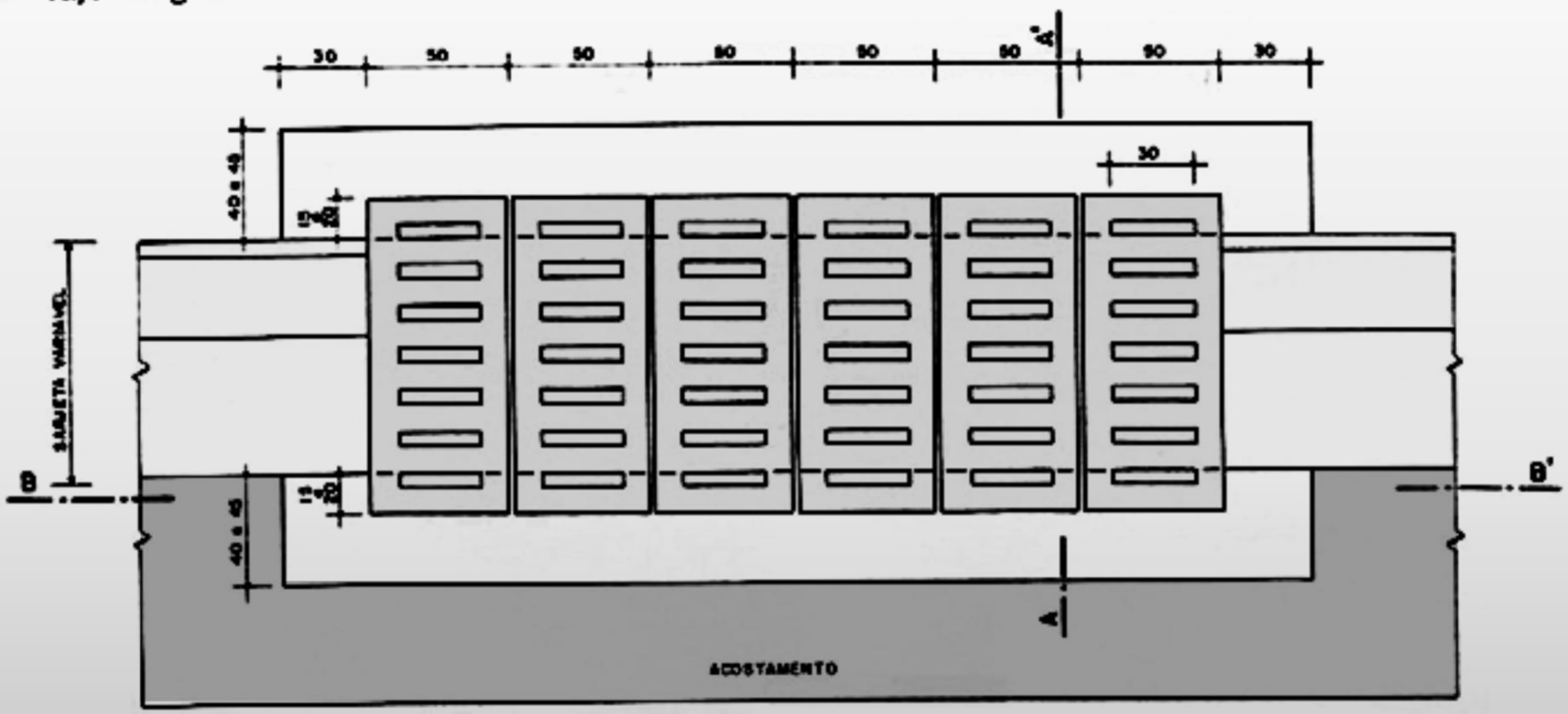
SEÇÃO TRANSVERSAL

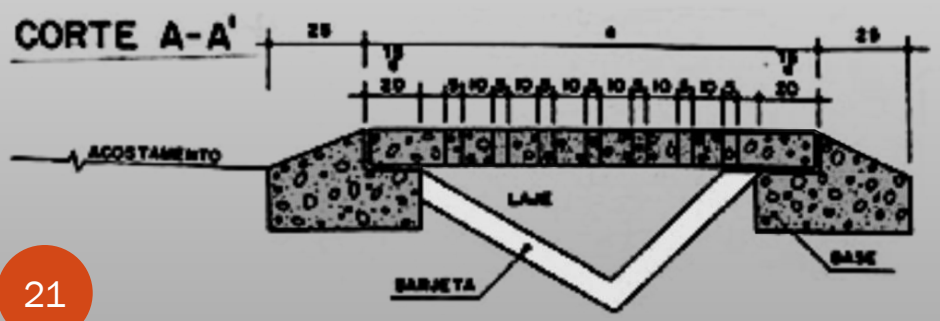


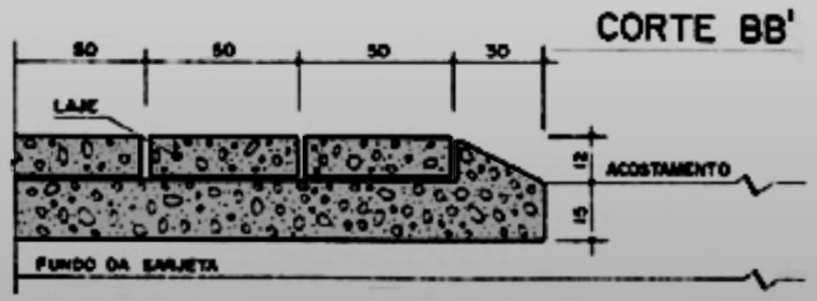
CONSUMOS MÉDIOS		
TUBO DE CONCRETO (1 m/m)	ø = 30	ø = 40
CONCRETO fck ≥ 11 MPa	≤ 0,30 m³/m	≤ 0,35 m³/m
ESCAVAÇÃO	≤ 0,30 m³/m	≤ 0,40 m³/m
	TSS 01	TSS 02

Transposição de Segmentos de Sarjeta

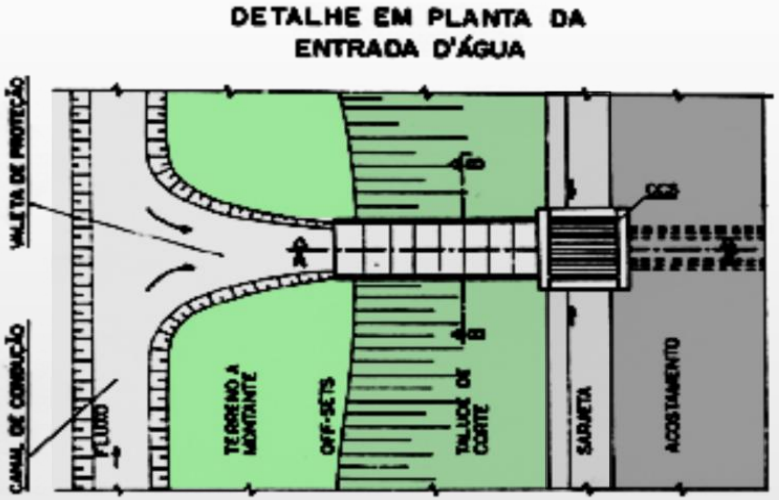
- *laje de grelha de concreto*

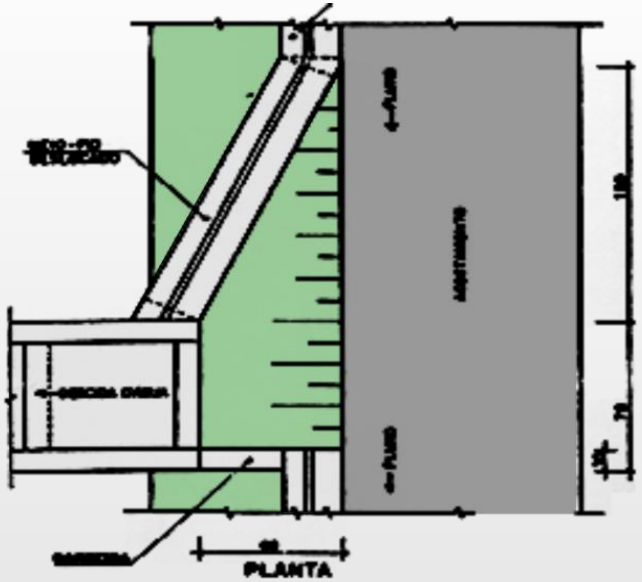


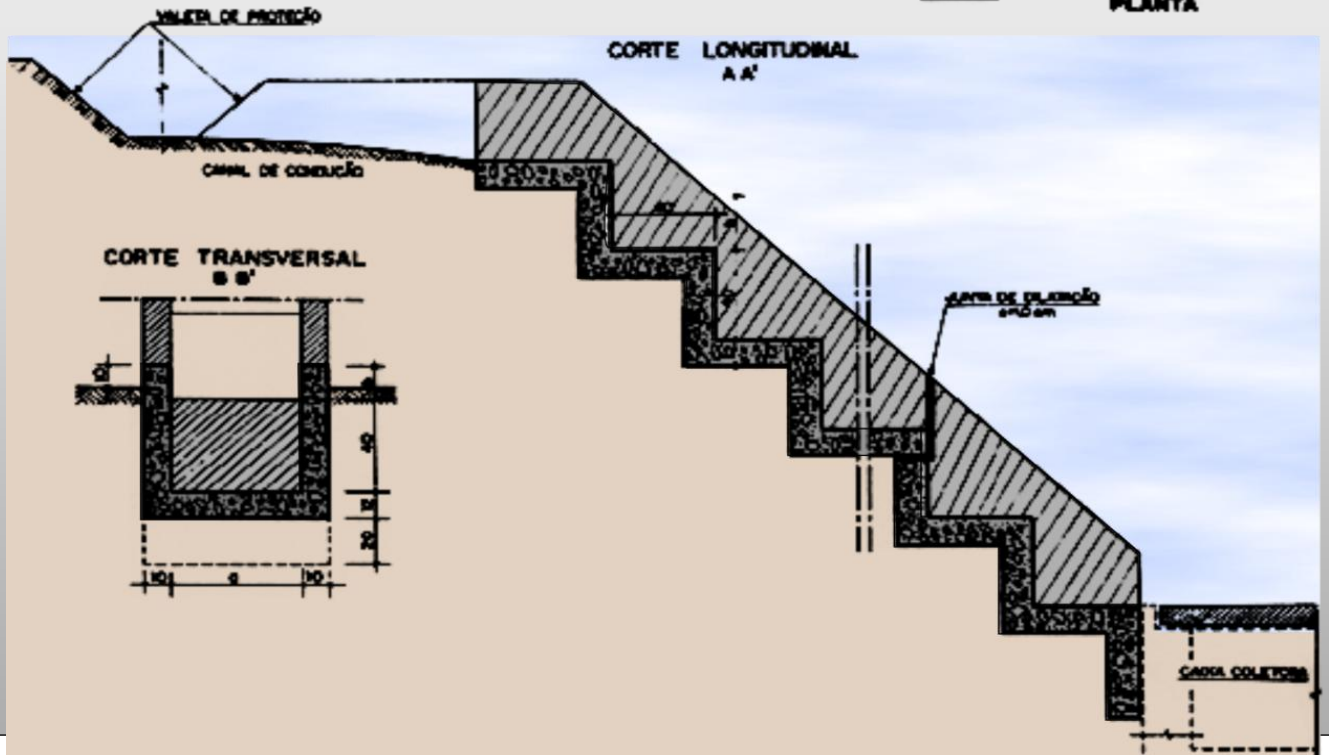




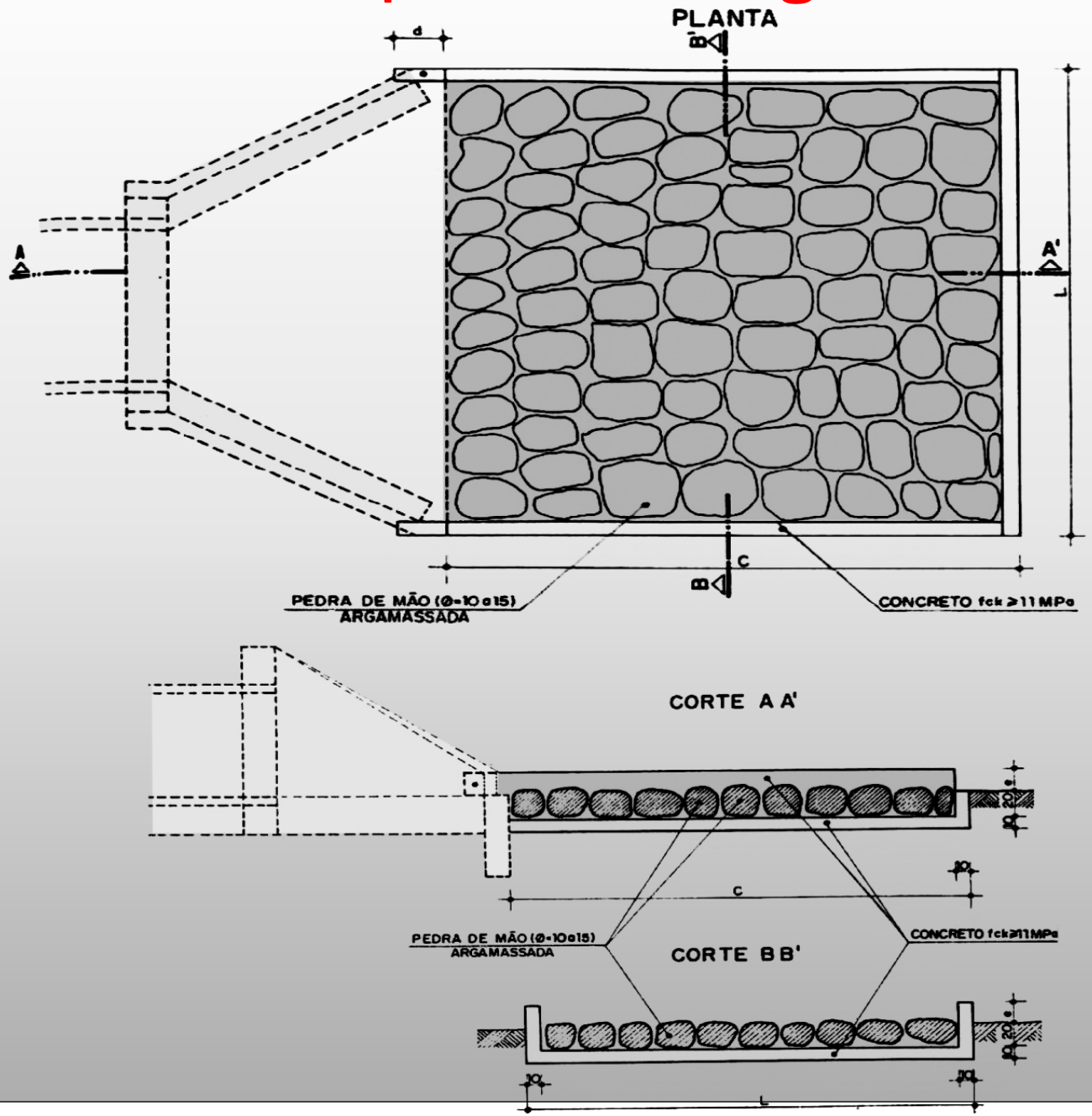
Saída e Descida D'água em Talude



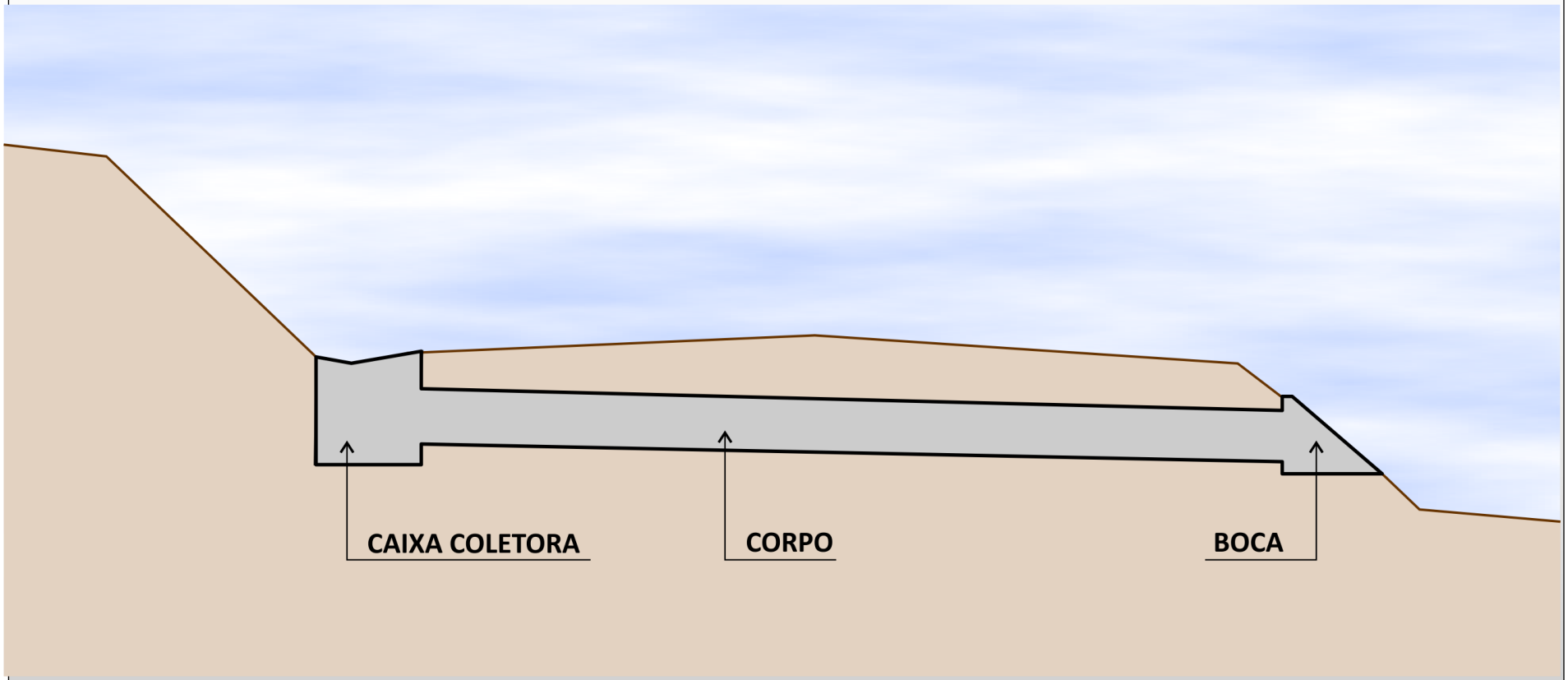




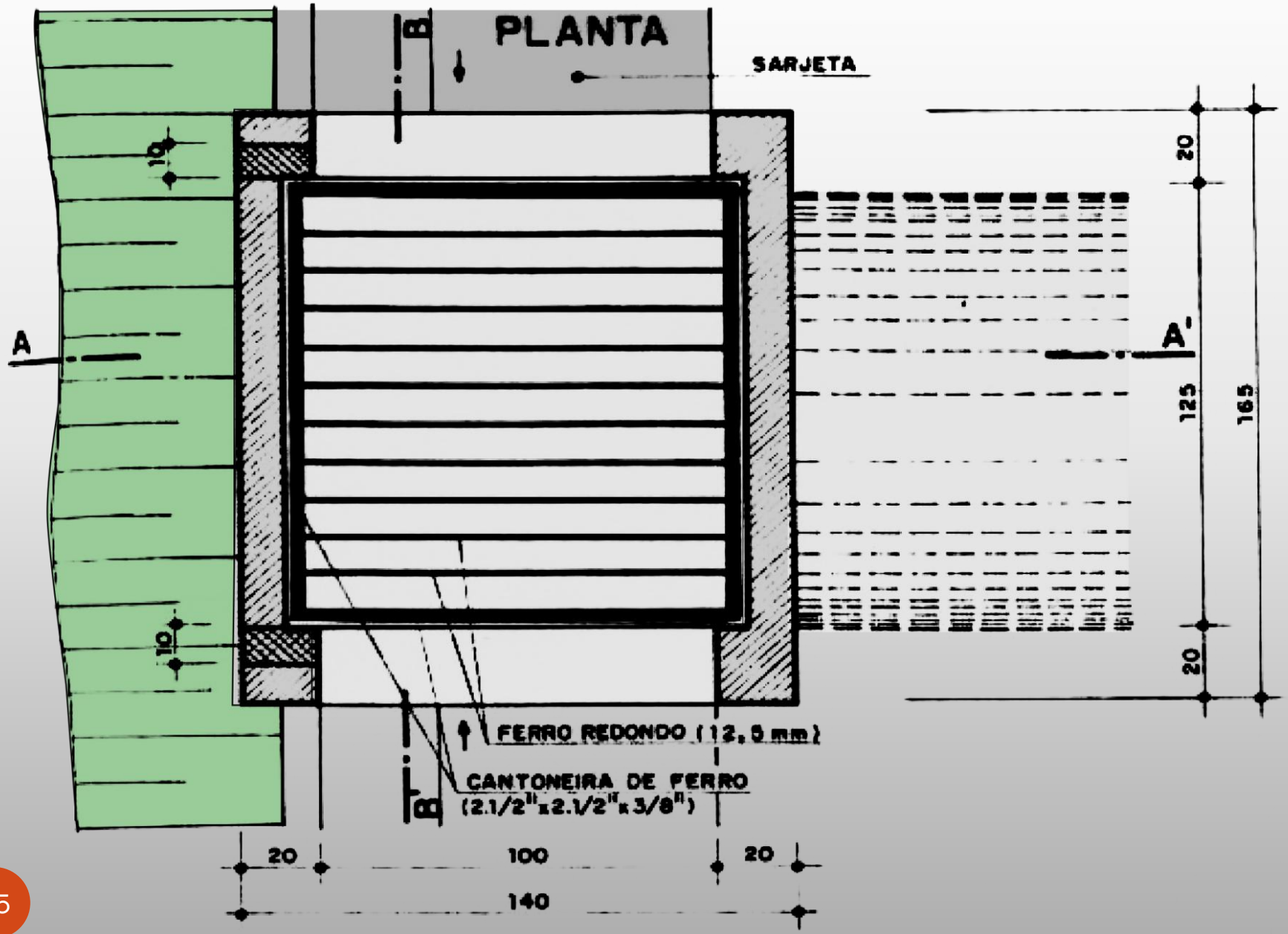
Dissipador de Energia



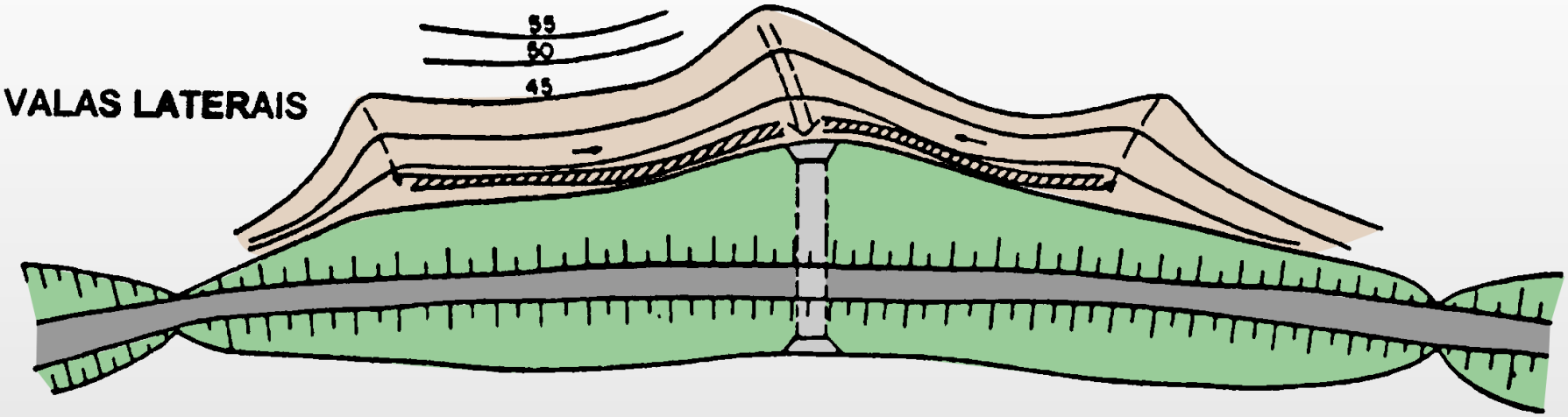
Bueiro de Greide

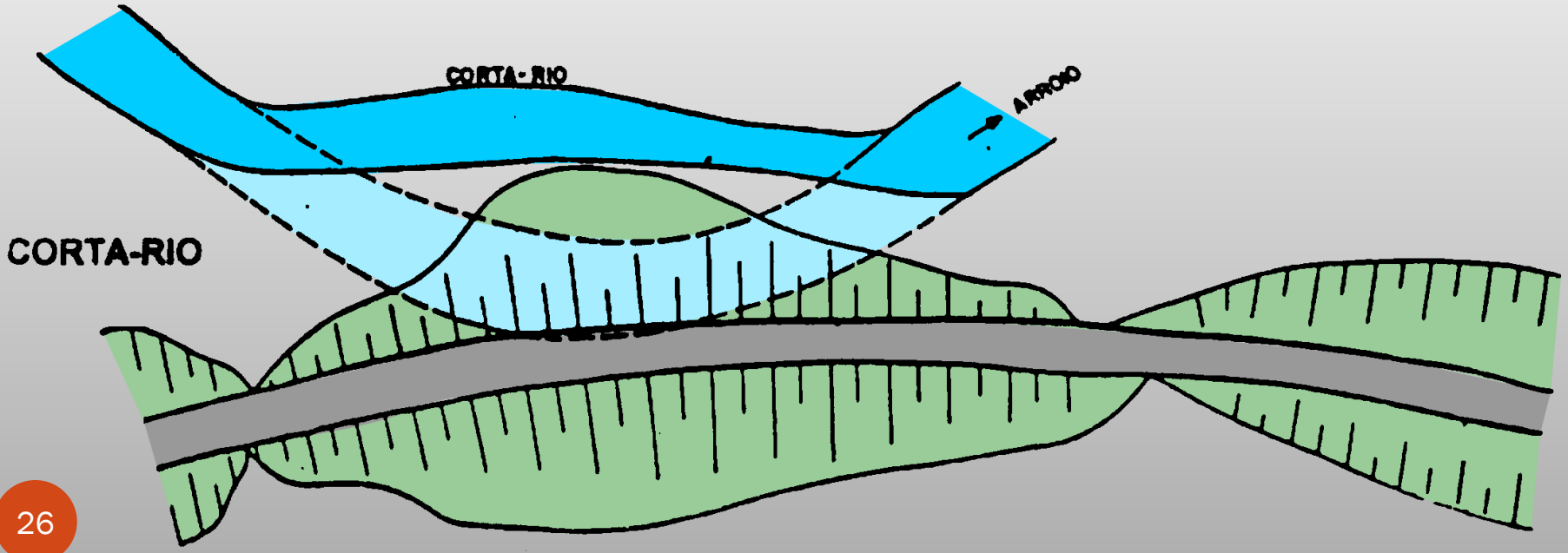


Caixa Coletora



Vala Lateral e Corta-Fio





DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

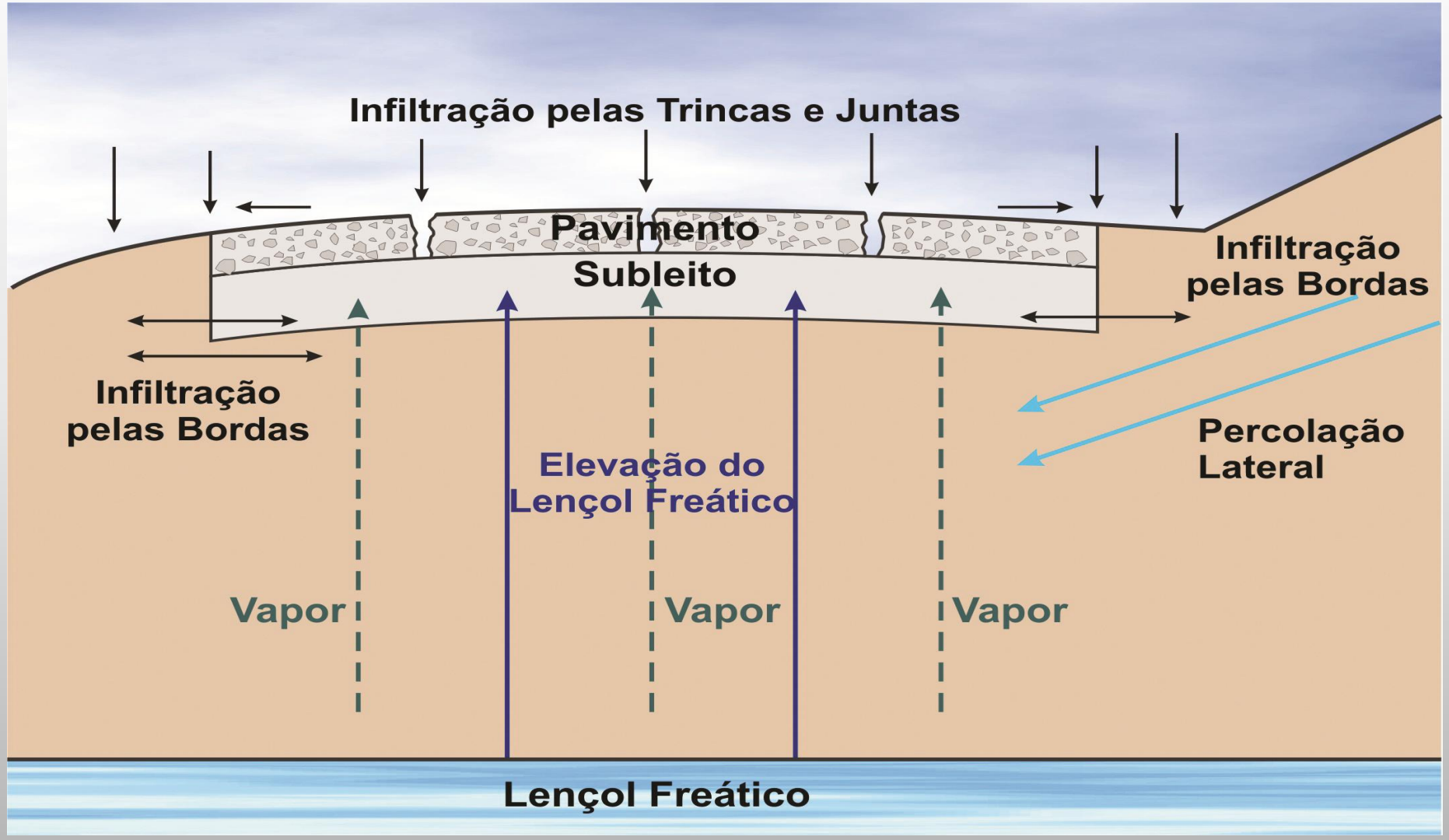
DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

- **OBJETIVOS**
  - PROTEÇÃO CONTRA INFILTRAÇÕES DIRETAS DE PRECIPITAÇÕES
  - ASCENÇÃO DE LENÇÓIS D'ÁGUA SUBTERRÂNEOS
- **DISPOSITIVOS**
  - CAMADA DRENANTE
  - DRENOS RASOS LONGITUDINAIS
  - DRENOS LATERAIS DE BASE
  - DRENOS TRANSVERSAIS

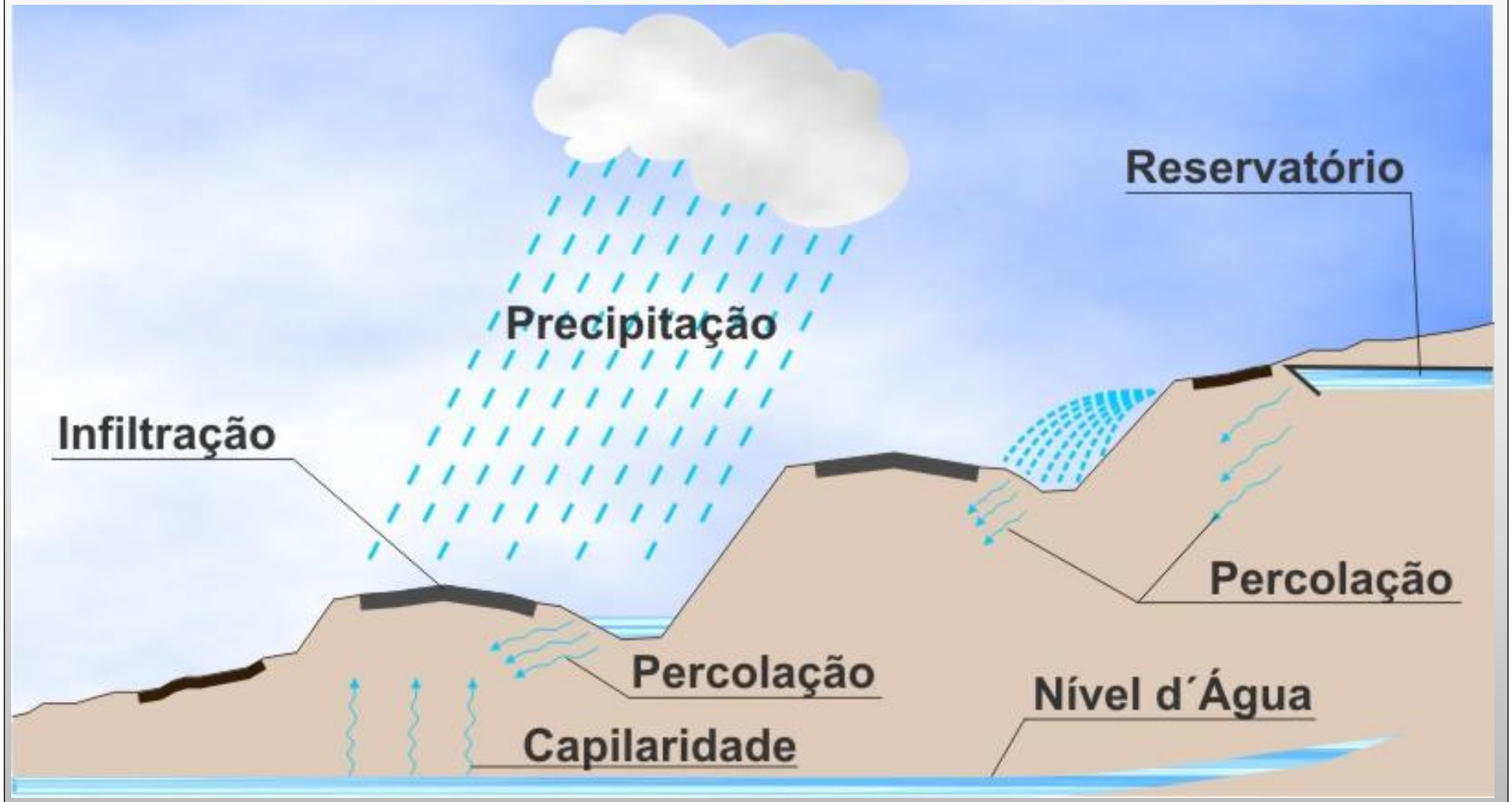
FONTES DE ÁGUA NA ESTRUTURA

- **INFILTRAÇÃO**
  - TRINCAS E JUNTAS NA SUPERFÍCIE
  - JUNÇÃO PISTA / ACOSTAMENTO
- **ASCENÇÃO**
  - LENÇOL FREÁTICO
  - EFEITO CAPILAR

FONTES DE ÁGUA NA ESTRUTURA



FONTES DE ÁGUA NA ESTRUTURA



FONTES DE ÁGUA NA ESTRUTURA

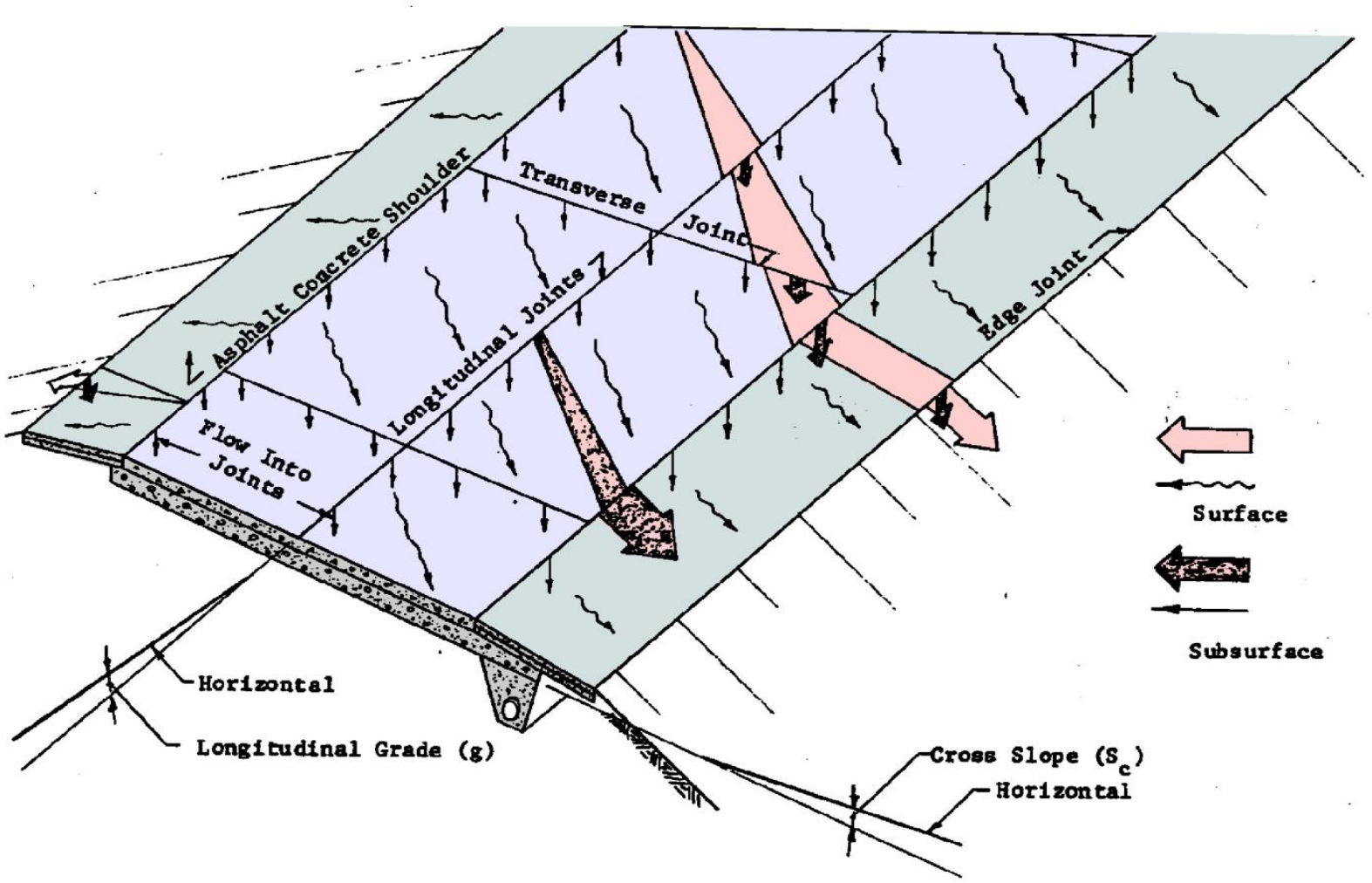


Figure 13. Paths of Flow of Surface and Subsurface Water in Portland Cement Concrete Pavement Structural Sections (16)

FORMAS DE MOVIMENTAÇÃO DA ÁGUA

- DIFERENÇA DE ELEVAÇÃO (GRAVITACIONAL)
- DIFERENÇA DE TEMPERATURA OU PRESSÃO
- CAPILARIDADE
- FORÇA OSMÓTICA

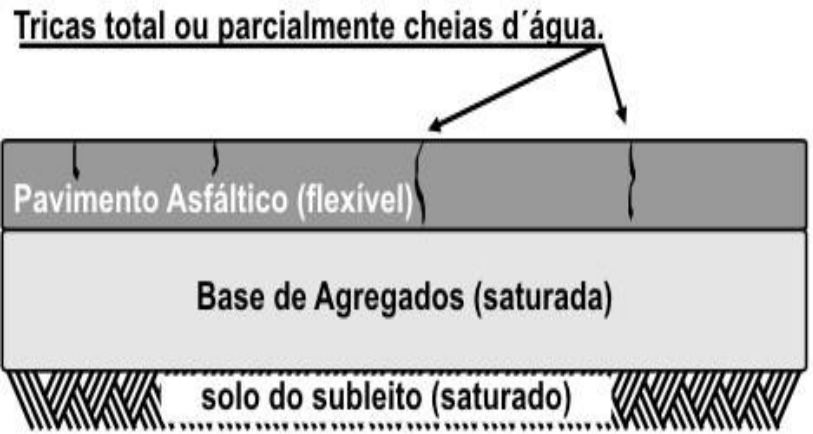
- **FLUXO SATURADO**
  - GRADIENTE DEVIDO A DIFERENÇA DE ELEVAÇÃO
- **FLUXO NÃO SATURADO**
  - GRADIENTE FORNECIDO PELA CAPILARIDADE E DIFERENÇA DE TEMPERATURA

EFEITO ADVERSO DA ÁGUA

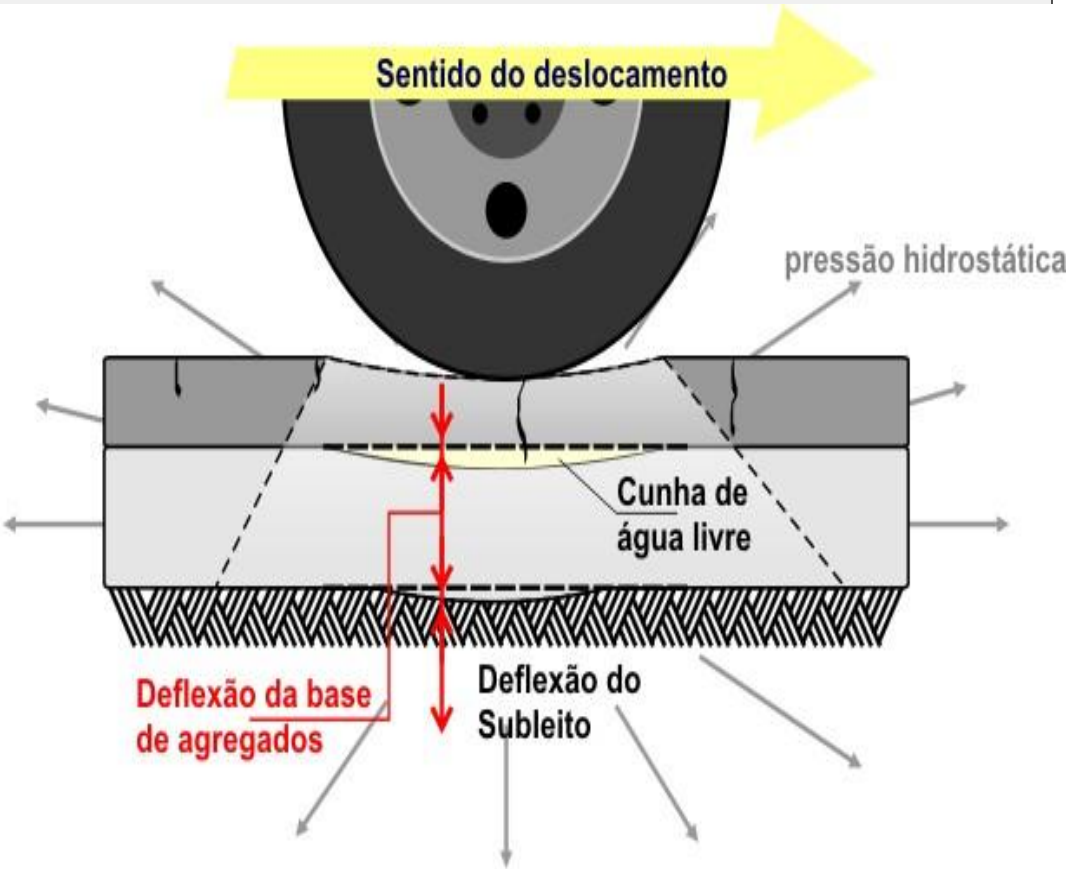
- FORÇAS DE PERCOLAÇÃO OU SUB-PRESSÃO GERAM FLUXOS INTERNOS E SATURAÇÃO
- AMOLECIMENTO DAS CAMADAS DE FUNDAÇÃO QUANDO SE TORNAM SATURADAS E/OU MANTÉM-SE POR PERÍODOS PROLONGADOS
- DESAGREGAÇÃO E TRINCAMENTO DE MATERIAIS PELA INTERAÇÃO COM A UMIDADE EXCESSIVA
- CARREAMENTO E MIGRAÇÃO DE PARTÍCULAS DE SOLO PARA UM PONTO DE SAÍDA, PROPORCIONANDO "PIPING" OU EROSÃO (BOMBEAMENTO)

O PROBLEMA DA ÁGUA NOS PAVIMENTOS

Pavimento Asfáltico



Pavimento de CA não carregado

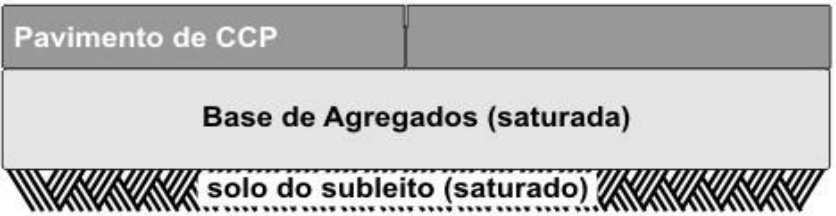


Nota: As dimensões verticais estão exageradas para maior clareza.

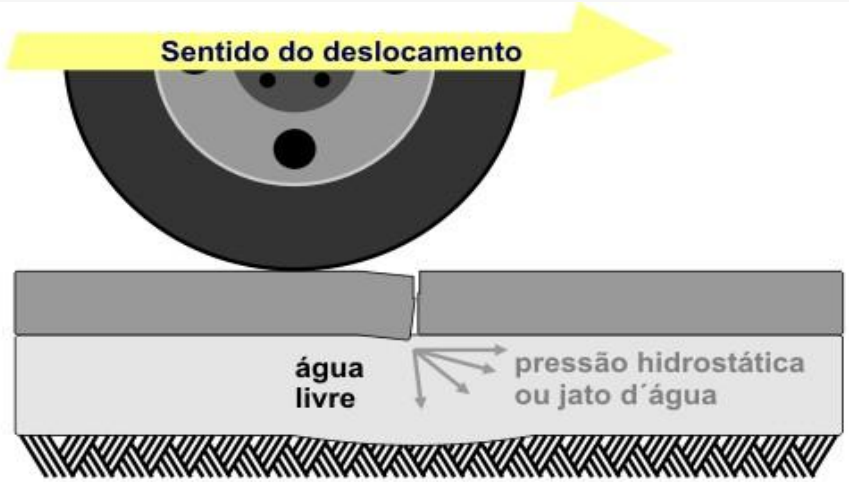
Pavimento de CA carregado

O PROBLEMA DA ÁGUA NOS PAVIMENTOS

Pavimento de Concreto de Cimento Portland



Pavimento de CCP não carregado



Nota: As dimensões verticais estão exageradas para maior clareza.

Pavimento de CCP carregado

INFLUÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

- Pavimento Asfáltico

Parâmetro	Valores Adotados
Período de projeto (anos)	8
Perda de serventia - ΔPSI	2,00
Tráfego – N_{USACE}	$7,46 \times 10^7$
Tráfego – N_{AASHTO}	$1,97 \times 10^7$
Módulo de resiliência do subleito (MPa)	50
Coeficiente de Drenagem – BGS (m_i)	1,40
Desvio Padrão	0,45
Confiabilidade (%)	90
Número Estrutural Inicial – SN	5,76
Índice de Serventia Final - Pt	2,5

INFLUÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

- Pavimento Asfáltico

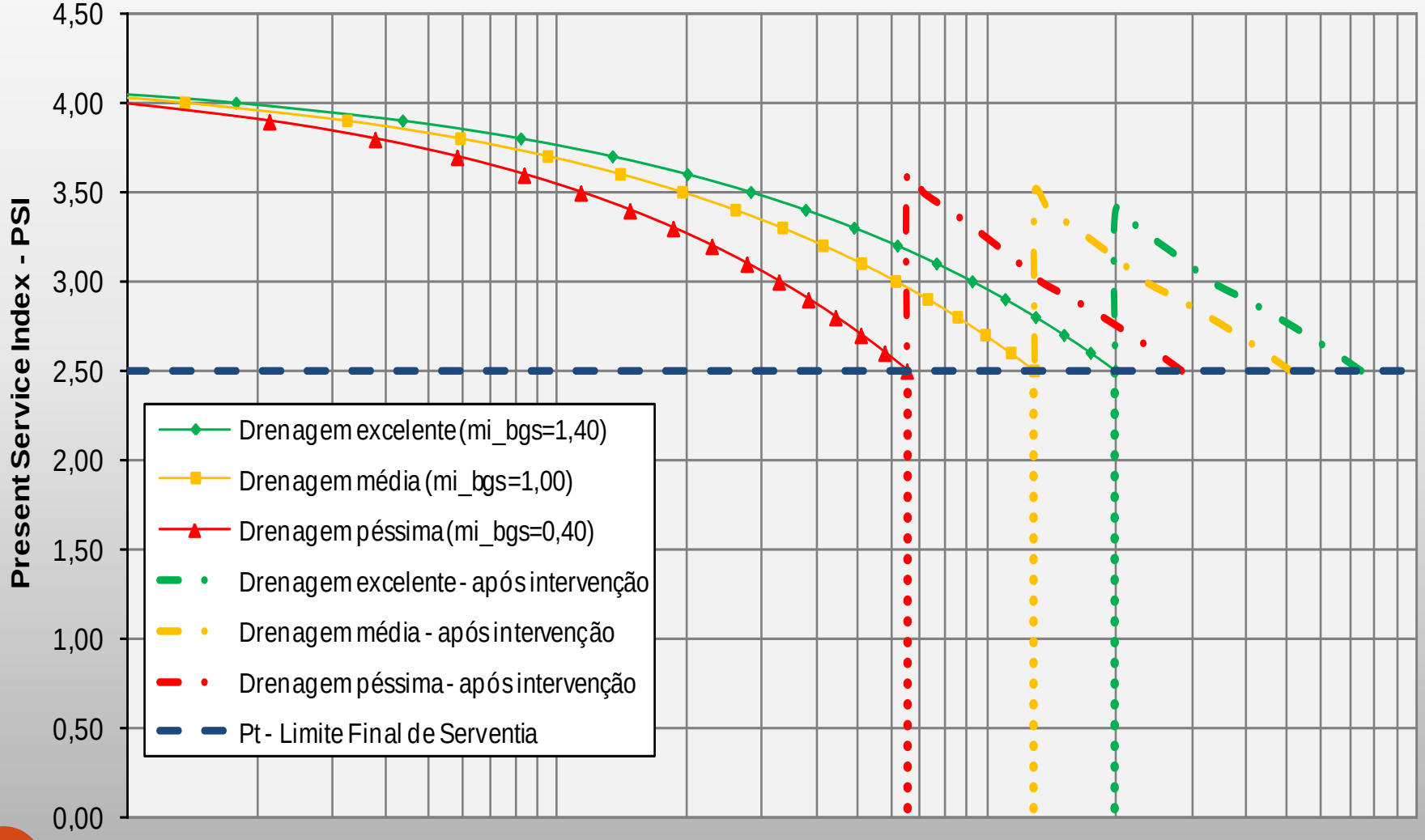
Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência (Mpa)	Coeficiente Estrutural (ai)	Coeficiente Drenagem (mi)
Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	15,0	3.500,0	0,44	-
Brita Graduada Simples (BGS)	12,0	300,0	0,18	0,40/1,00/1,40
Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)	18,0	7.500,0	0,28	1,0
Subleito Estabilizado (CBR > 5%)	-	50,0	-	-
Número Estrutural Resultante (SN) =				4,92/5,42/5,76

$$\log W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9{,}36 \cdot \log(SN+1) - 0{,}20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4{,}2 - 1{,}5}\right)}{0{,}40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32 \cdot \log M_R - 8{,}07$$

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

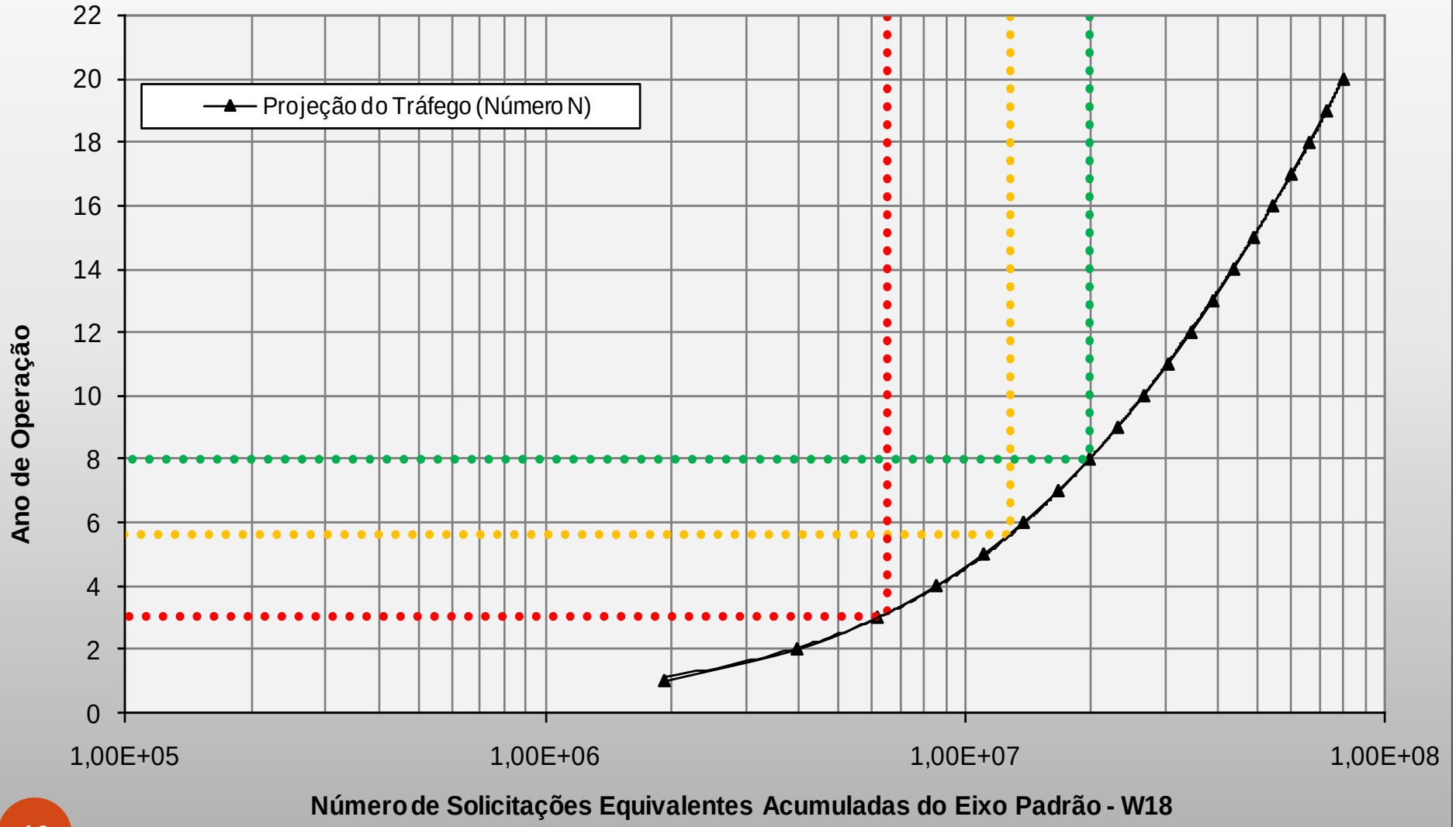
INFLUÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

- Pavimento Asfáltico



INFLUÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

- Pavimento Asfáltico



INFLUÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

- Pavimento de Concreto de Cimento Portland

Parâmetro	Valores Adotados
Período de projeto (anos)	20
Perda de serventia - ΔPSI	2,00
Tráfego - $N_{AASHTO\ RÍGIDO}$	$1,44 \times 10^8$
Módulo de ruptura (MPa)	5,30
Módulo de elasticidade (MPa)	30.000
Módulo de reação (MPa/m)	80
Coeficiente de transferência de carga - J	2,50
Coeficiente de drenagem - Cd	1,25 / 1,00 / 0,70
Desvio Padrão	0,30
Confiabilidade (%)	70
Acostamento de Concreto	SIM

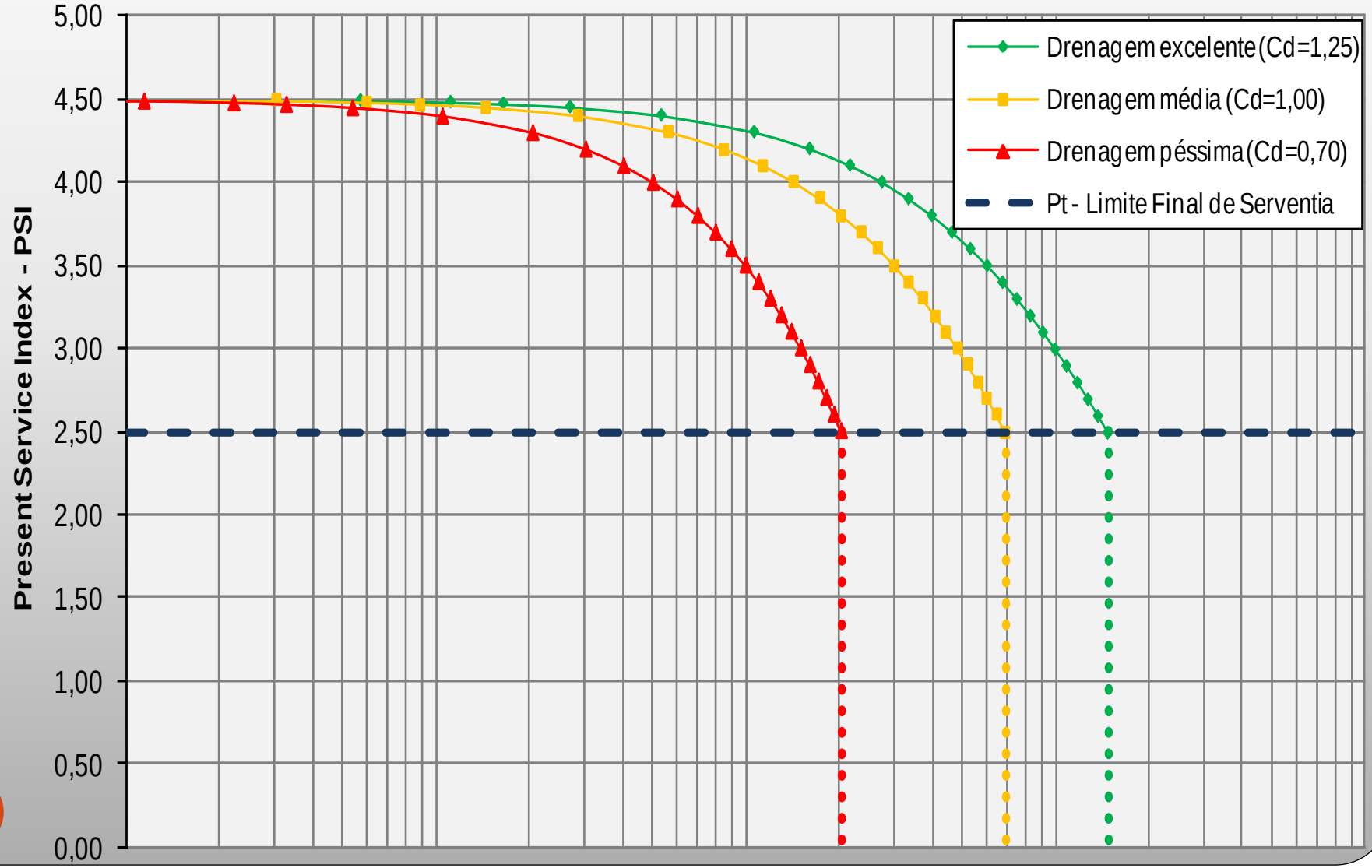
INFLUÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

- Pavimento de Concreto de Cimento Portland

Material	Espessura (cm)
Placa de Concreto de Cimento Portland (CCP)	24,0
Concreto Compactado com Rolo (CCR)	10,0
Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)	10,0
Subleito Estabilizado (CBR $\geq$ 5%)	-

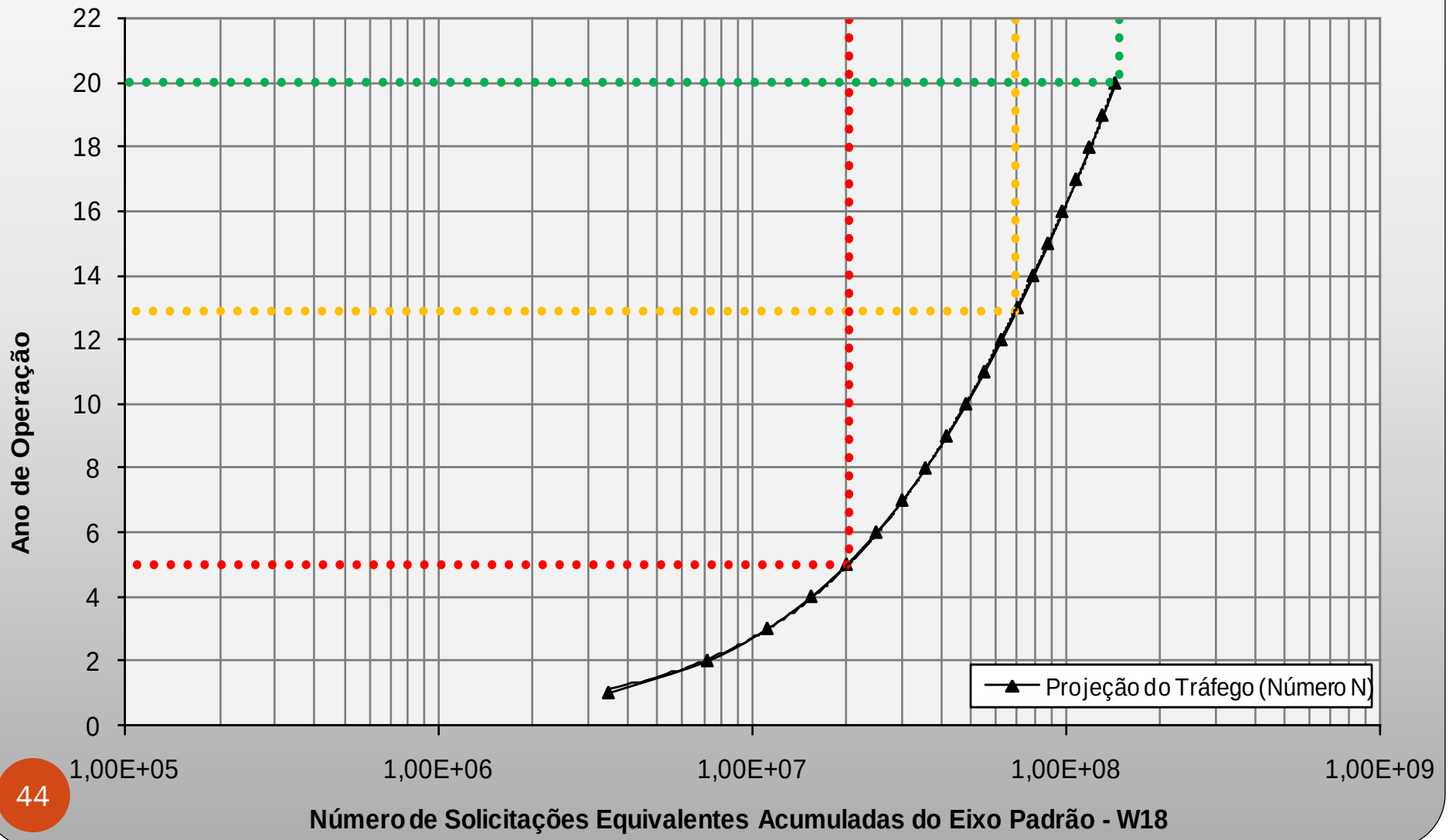
$$\log W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 7{,}35 \cdot \log(D+1) - 0{,}06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4{,}5-1{,}5}\right)}{1+\frac{1{,}624 \cdot 10^7}{(D+1)^{8{,}46}}} + (4{,}22 - 0{,}32 \cdot p_t) \cdot \log\left[\frac{Sc \cdot Cd \cdot \left(D^{0{,}75} - 1{,}132\right)}{215{,}63 \cdot J \cdot \left(D^{0{,}75} - \frac{18{,}42}{\left(\frac{Ec}{K}\right)^{0{,}25}}\right)}\right]$$

INFLUÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO



INFLUÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Pavimento de Concreto de Cimento Portland



CONCEITOS DE PROJETO DE DRENAGEM

- **OBJETIVO**
  - MANTER MATERIAIS NÃO SATURADOS
  - EVITAR EXPOSIÇÃO À UMIDADE ELEVADA
- **TIPOS DE CONTROLE**
  - SELAR O PAVIMENTO E EVITAR INFILTRAÇÃO
  - UTILIZAR MATERIAIS POUCO SENSÍVEIS A UMIDADE
  - PROVIDENCIAR DRENAGEM ADEQUADA PARA RETIRAR A UMIDADE O MAIS RÁPIDO POSSÍVEL

DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

- **HIPÓTESES**
  - DRENAR SOMENTE A ÁGUA INFILTRADA
  - CAMADA DRENANTE POSICIONADA IMEDIATAMENTE ABAIXO DO REVESTIMENTO
- **CRITÉRIOS DE PROJETO**
  - CONTINUIDADE DO FLUXO
  - TEMPO DE DRENAGEM
- **NECESSIDADE DE DISPOSITIVOS**
  - i > 1500 mm / ano
  - VDM $\geq$ 500 veículos comerciais

DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

- INFILTRAÇÕES DE PROJETO

  - **CEDERGREN ET AL – 1973**

$$I_P = C \times i$$

$C = 0{,}33 \text{ a } 0{,}50$ - Revestimento asfáltico

$C = 0{,}50 \text{ a } 0{,}67$ - Pavimento rígido - CCP

$t_C = 1 \text{ hora}$

$T_r = 1 \text{ ano}$

  - **RIDGWAY – 1975 - AASHTO**

$$Q = q \times \left(\frac{Nc}{W} + \frac{Wc}{WCs} \right)$$

$q = 2{,}4 \text{ pés}^3 / \text{dia} / \text{pés de trinca}$

$W = \text{comprimento das trincas ou juntas}$

$N = \text{número de faixas}$

$C = \text{espaçamento entre juntas}$

DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

- **CAMADA DRENANTE**
  - ELEMENTOS DE PROJETO
    - DECLIVIDADES LONGITUDINAL / TRANSVERSAL
    - LARGURAS DAS FAIXAS / ACOSTAMENTOS
    - POSIÇÃO DO DRENO
    - ESPESSURAS DAS CAMADAS
    - TIPOS DE MATERIAL
    - FAIXAS GRANULOMÉTRICAS

DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

- **CAMADA DRENANTE**
  - DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO – LEI DE DARCY

Cálculo da espessura:

$$k = \frac{24 \times C \times i \times D}{100 \times e \times I}$$

$$er = e + 2cm$$

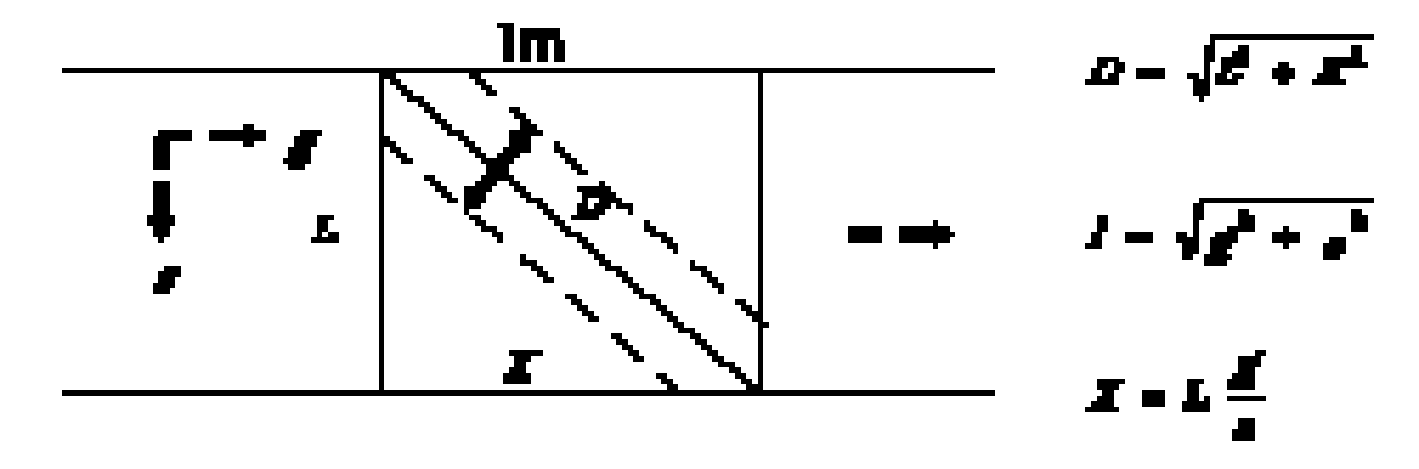
$$Q = \frac{24 \times C \times i \times D}{100}$$

$$Q = k \times i \times A$$

$$A = e \times L$$

Cálculo da permeabilidade:

$$e = \frac{24 \times C \times i \times D}{100 \times k \times I}$$



DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

- COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE (k)

Material	k (cm/s)
Brita 5	100
Brita 4	80
Brita 3	45
Brita 2	25
Brita 1	15
Pedrisco	5
Areia Grossa	1 a 0,1
Areia Fina	10^{-2} a 10^{-4}
Areia Siltosa	10^{-4} a 10^{-5}
Areia Argilosa	10^{-4} a 10^{-6}
Argila Silto-arenosa	10^{-5} a 10^{-7}
Bidim	4×10^{-1}

DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

- **DRENOS RASOS LONGITUDINAIS**
  - ELEMENTOS DE PROJETO
    - TIPOS DE DRENO (CEGO / TUBULAR)
    - SEÇÃO HIDRÁULICA
    - TIPO DE MATERIAL – k > CAMADA DRENANTE

DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

- **DRENOS RASOS LONGITUDINAIS – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO**

  - DRENO CEGO – LEI DE DARCY

$$Q_{máx} = k \times i \times A$$

  - DRENO TUBULAR – LEI DE CHEZY - MANNING

$$Q_{máx} = S \times \frac{R_H^{2/3} \times I^{1/2}}{n}$$

$$I_{crítico} = \frac{Q_{máx}}{Q_P}$$

DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

- **DRENOS RASOS LONGITUDINAIS – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO**

  - CÁLCULO DO TEMPO MÁXIMO DE PERMANÊNCIA D'ÁGUA NA CAMADA FILTRANTE

$$t_{máx} = 1\,\text{hora}$$

$$\mathrm{V} = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{A_{ef}}} = \frac{K \times i \times A}{A_{ef}}$$

$$V = \frac{K \times i}{n_e}$$

$$t = \frac{L}{V}$$

V = velocidade de percolação

K = coeficiente de permeabilidade

i = gradiente hidráulico

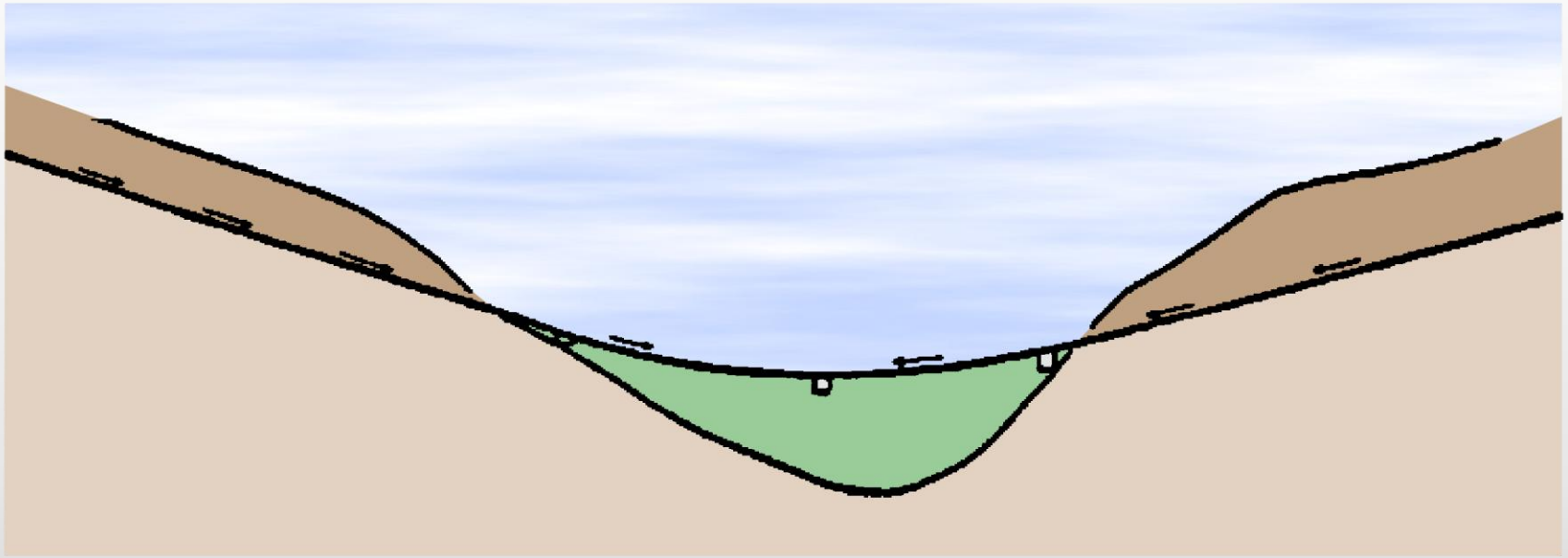
n_e = porosidade efetiva do material usado

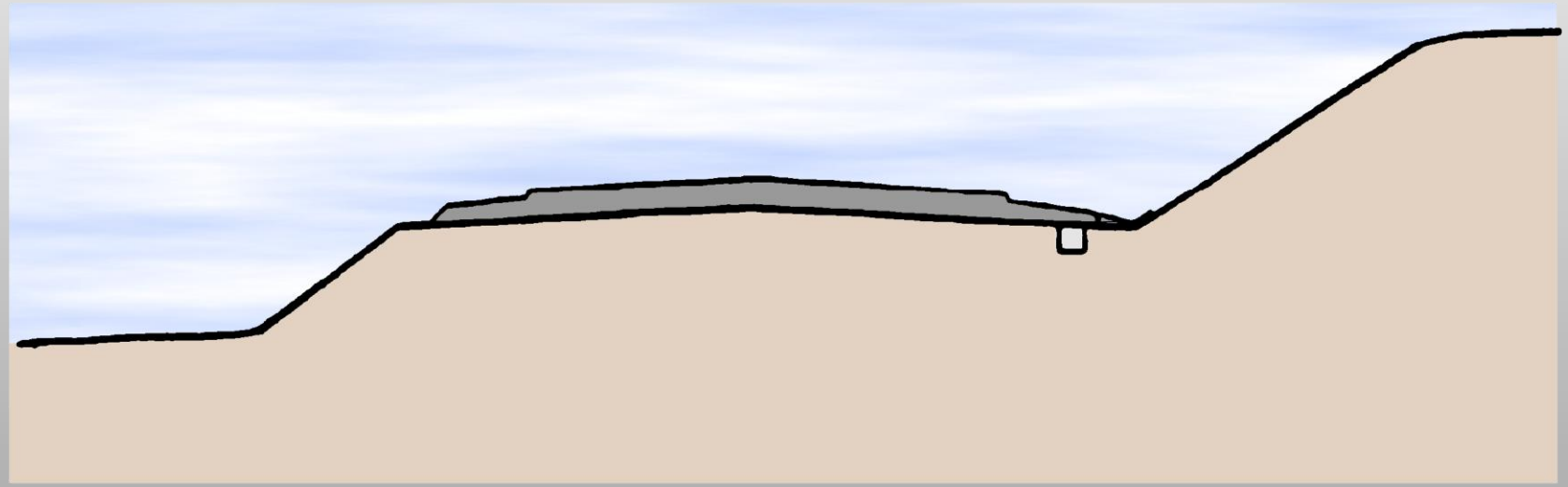
L = espaçamento entre saídas

DISPOSITIVOS DE DRENAGEM

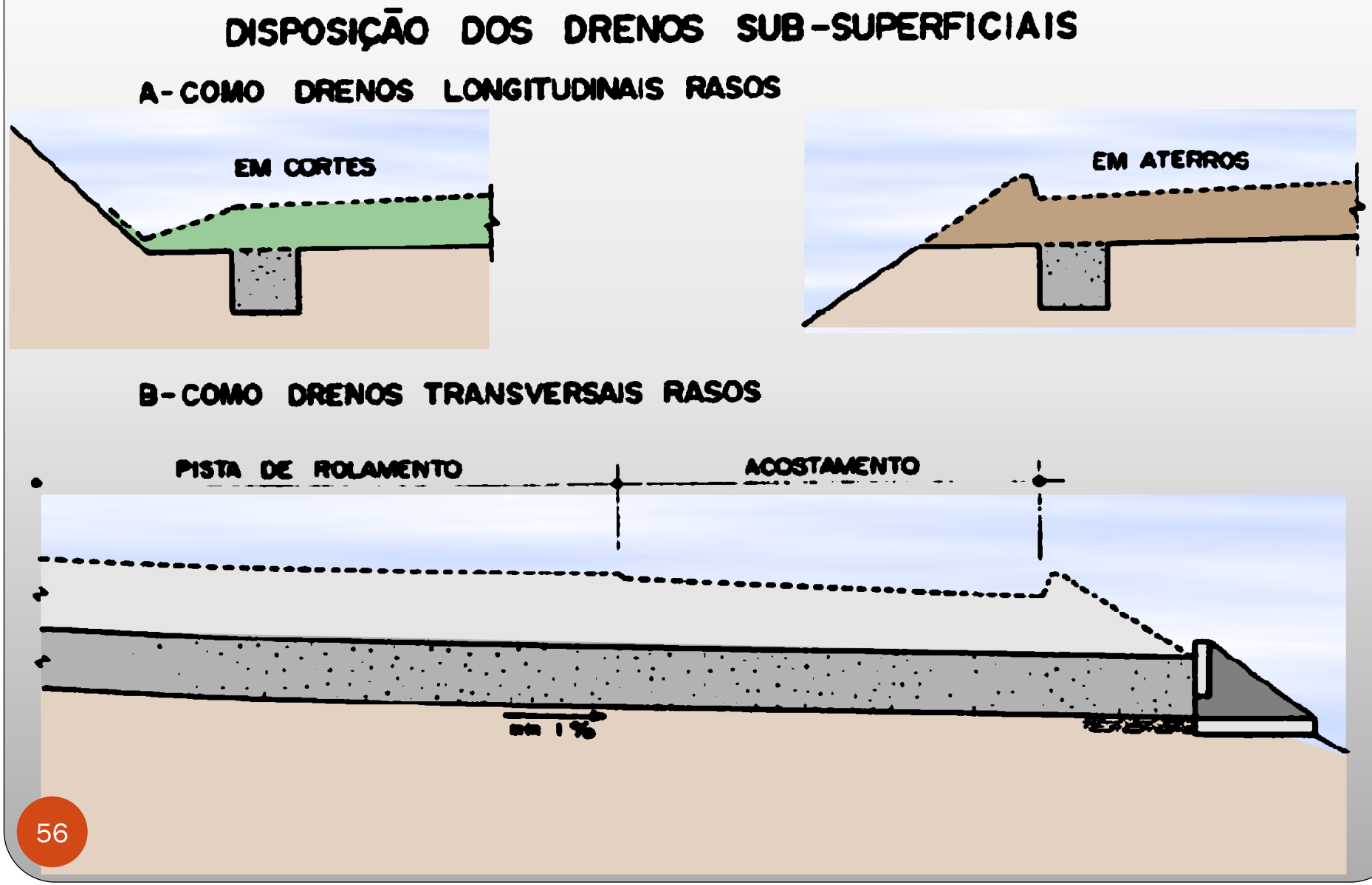
DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

Drenos Transversais e Longitudinais Rasos

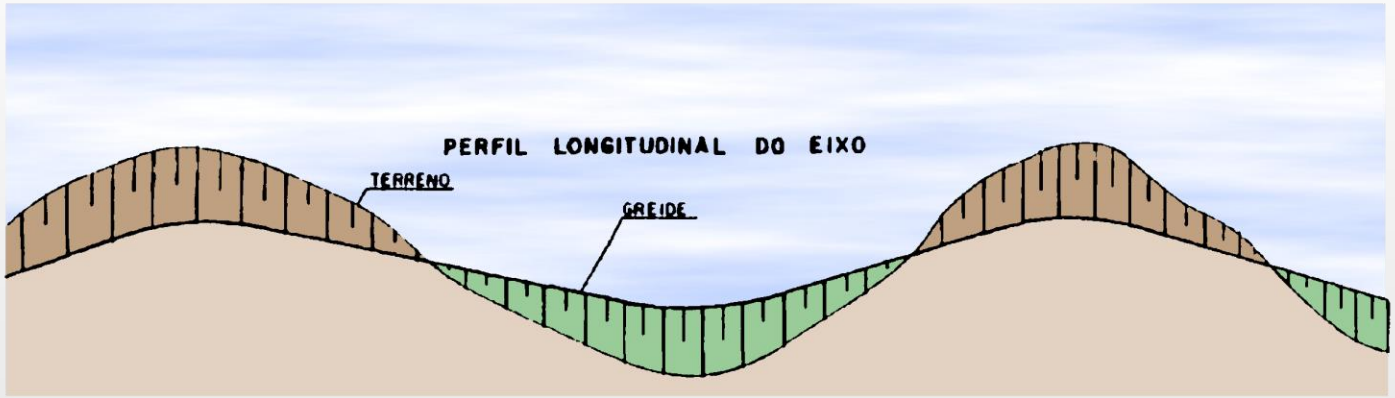


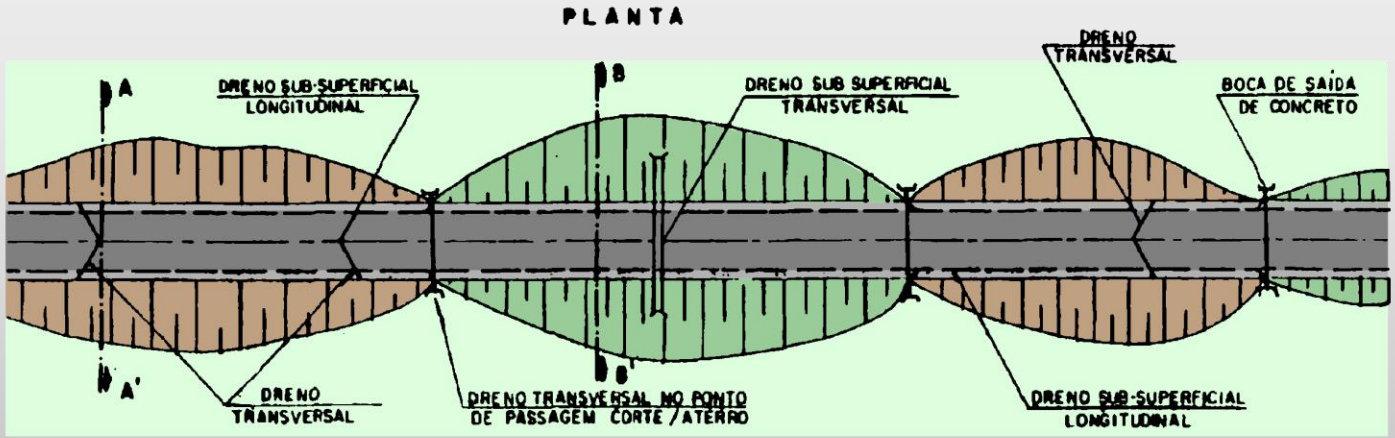


Drenos Subsuperficiais – Detalhes Complementares

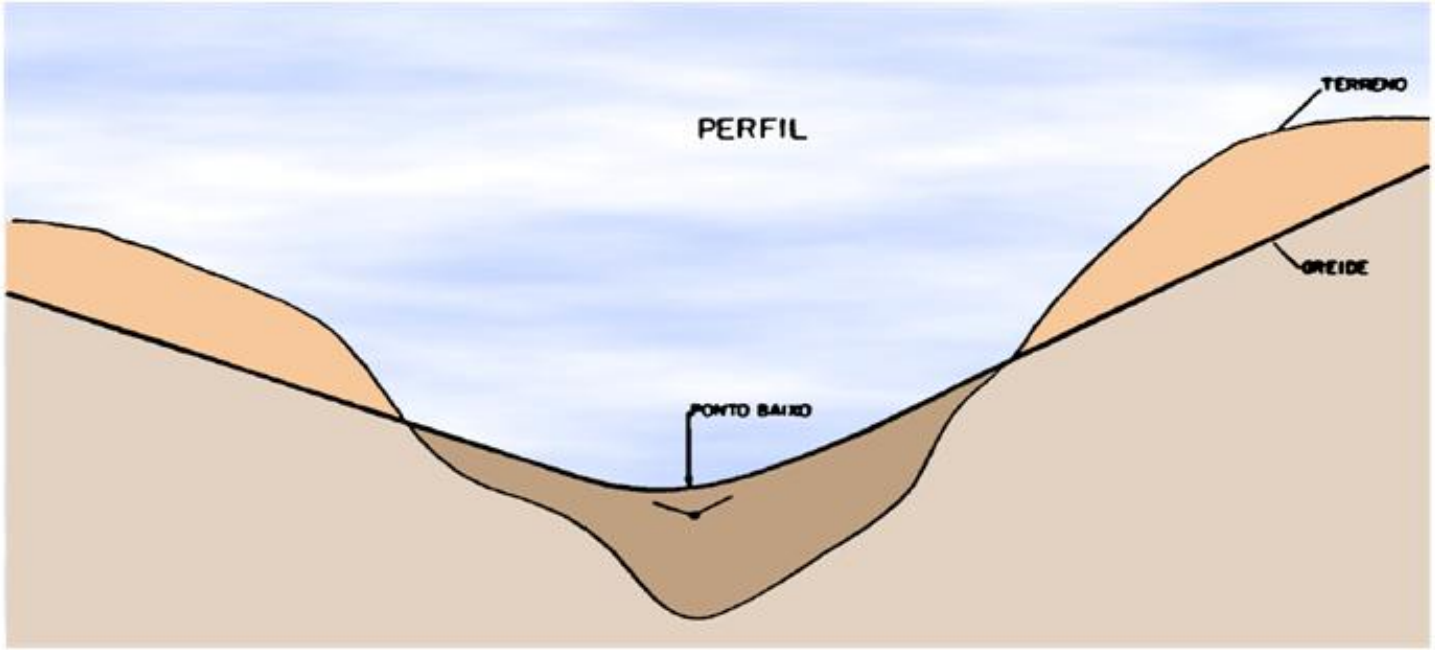


Locais para Implantação de Drenos Longitudinais e Transversais em Corte e em Aterro

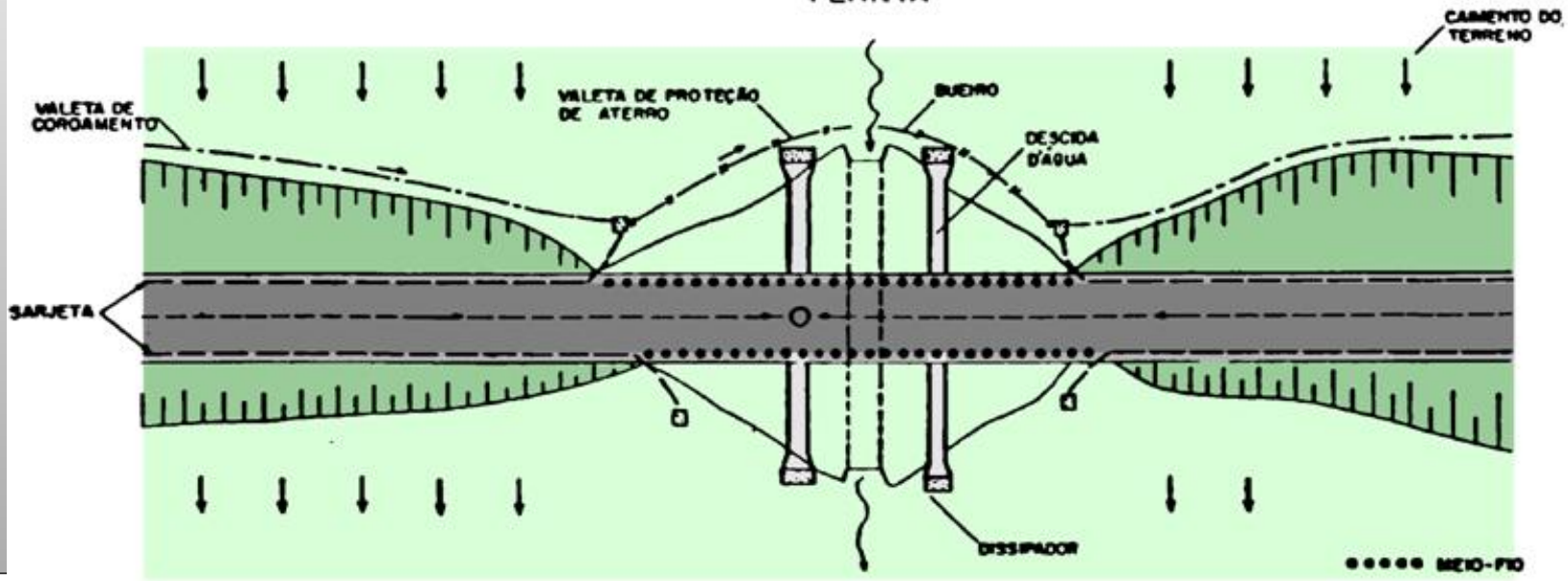
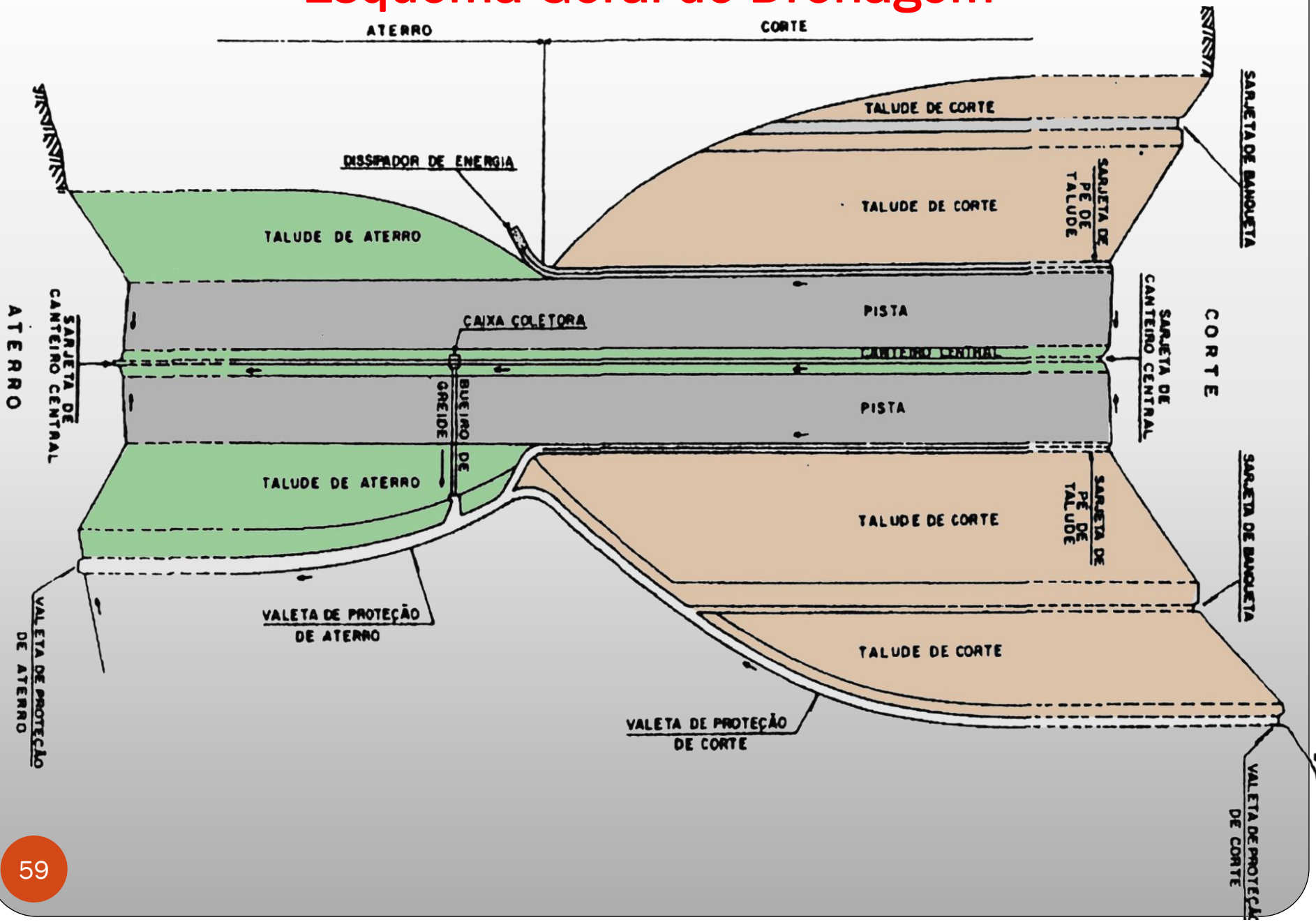




Esquema Geral de Drenagem



PLANTA



Esquema Geral de Drenagem