

PRINCIPAIS ELEMENTOS

“Nature to be Commanded must be Obeyed”

“A Natureza para ser Comandada precisa ser Obedecida”

“Francis Bacon”

IV - PRINCIPAIS ELEMENTOS

São os seguintes os principais elementos de uma barragem de terra, os quais são apresentados na Figura IV.1 e também descritos em detalhes neste capítulo:

- 1- Crista;
- 2- Borda livre;
- 3- Talude de montante;
- 4- Proteção do talude de montante (rip-rap);
- 5- Talude de jusante;
- 6- Proteção do talude de jusante (grama ou outro elemento);
- 7- Trincheira de vedação;
- 8- Filtro horizontal;
- 9- Filtro vertical;
- 10- Dreno de pé;
- 11- Cortina de injeção;
- 12- Poço de alívio;
- 13- Tapete impermeável;
- 14- Sistema de drenagem das águas pluviais.

Além destes elementos, para o perfeito funcionamento da barragem, também fazem parte da estrutura:

- 1- Sistema de extravasamento (vertedouro ou sangradouro);
- 2- Comportas.

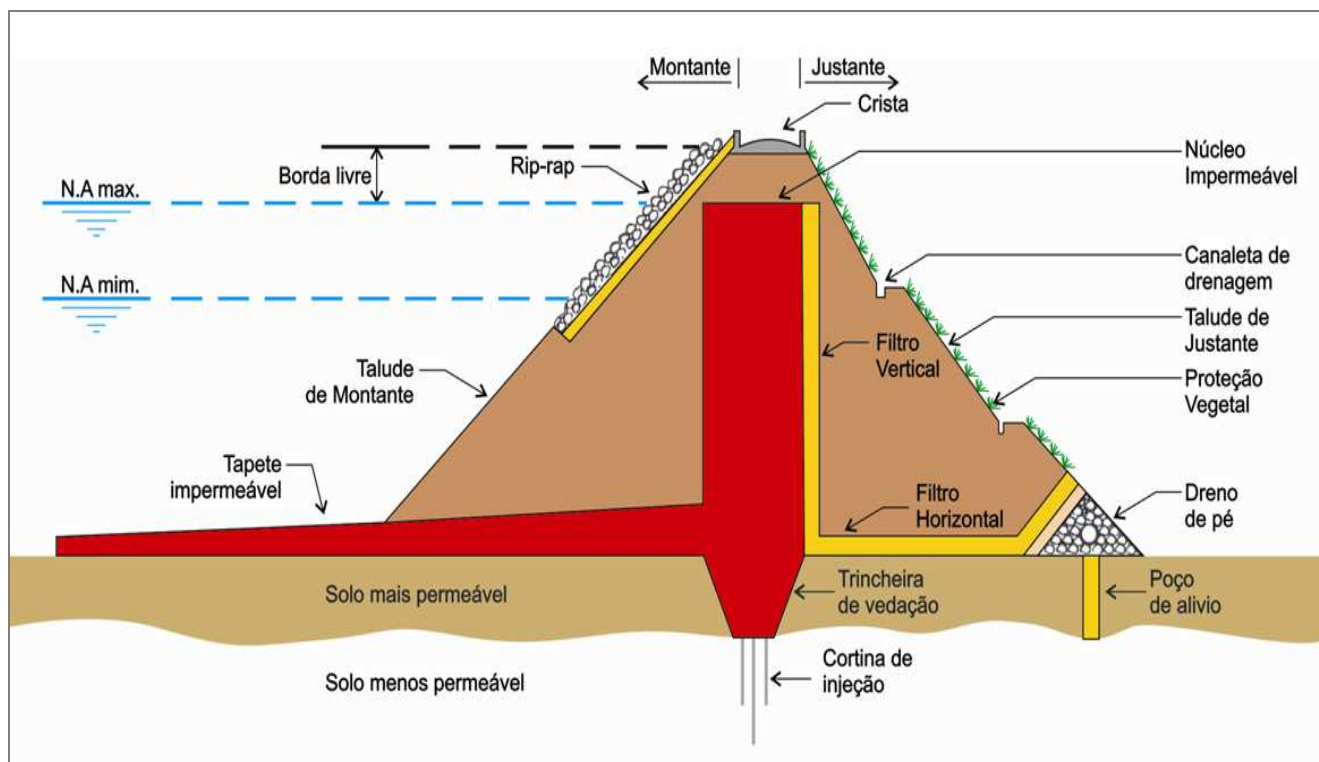


Figura IV.1 – Principais elementos de uma barragem de terra – Barragem Zoneada

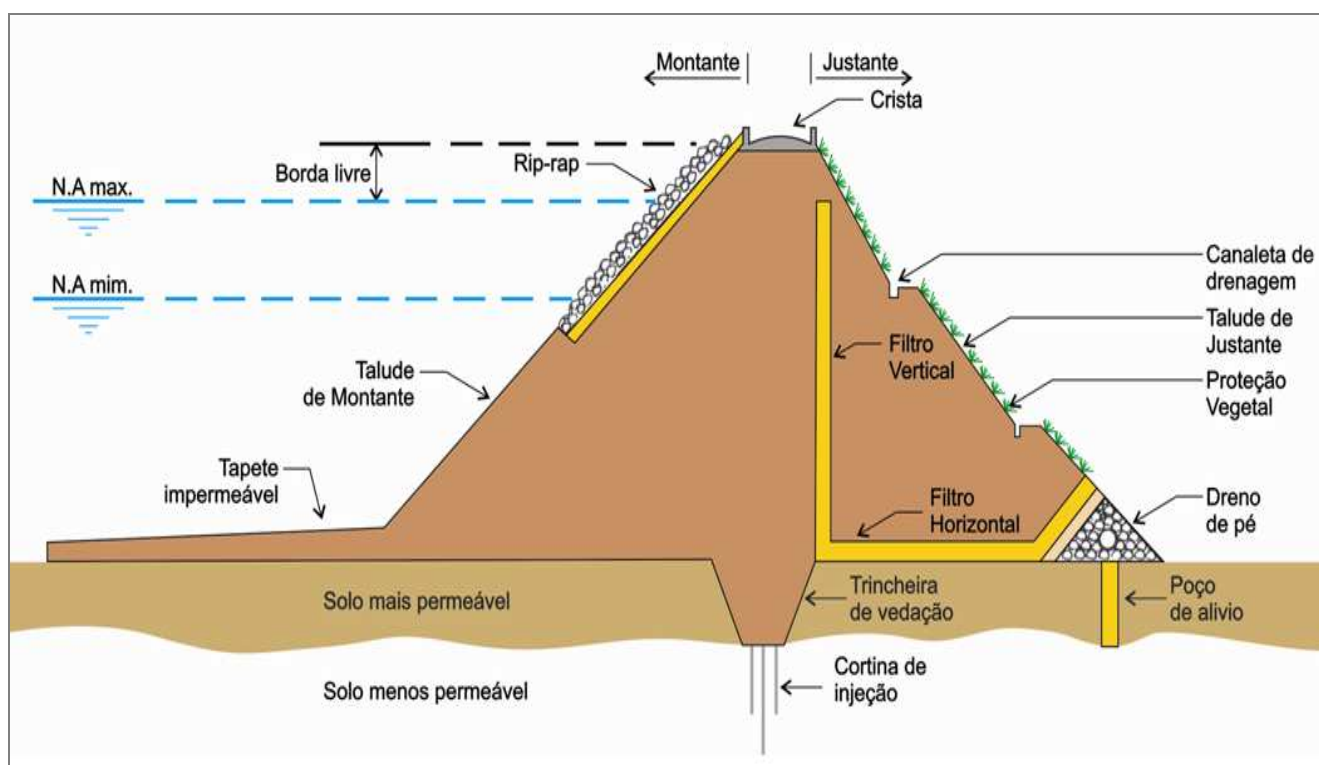


Figura IV.2 – Principais elementos de uma barragem de terra – Barragem Homogênea

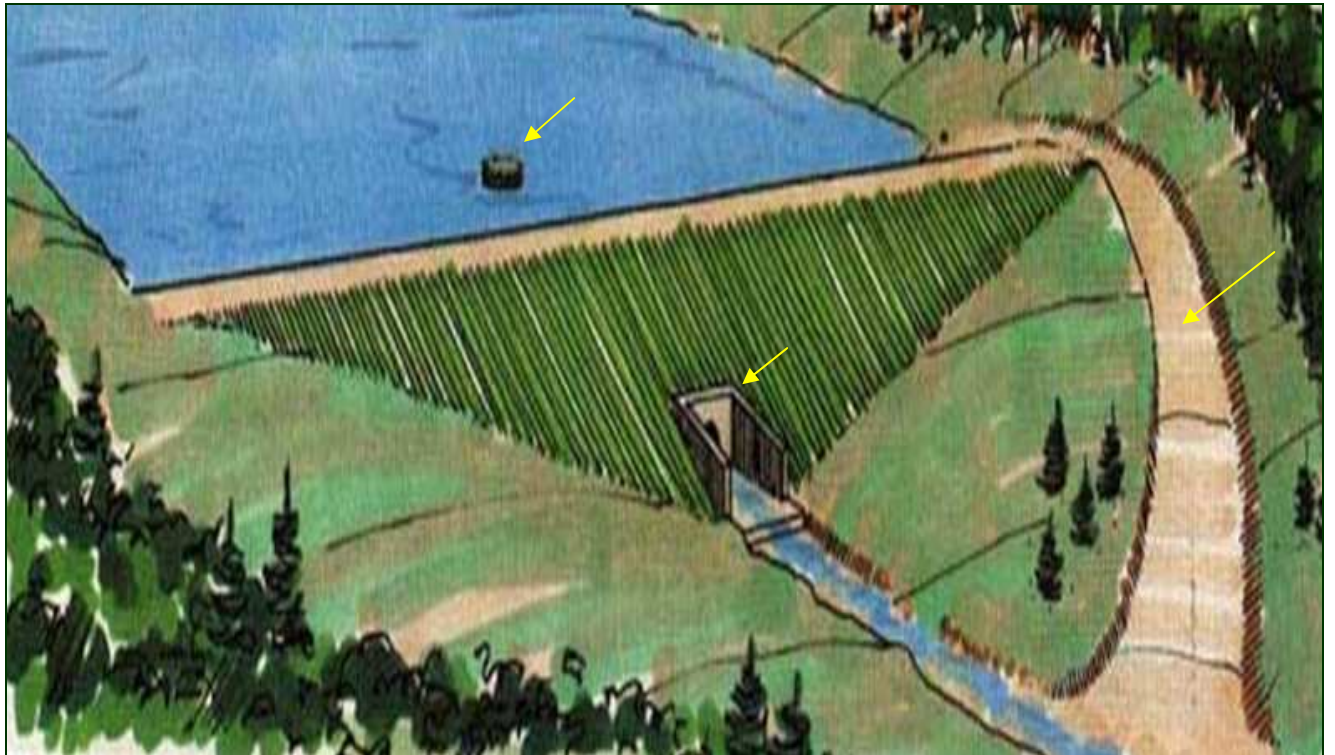


Figura X – Sangradouro – Caixa de Nível (Monje) - Tubulação de Fundo

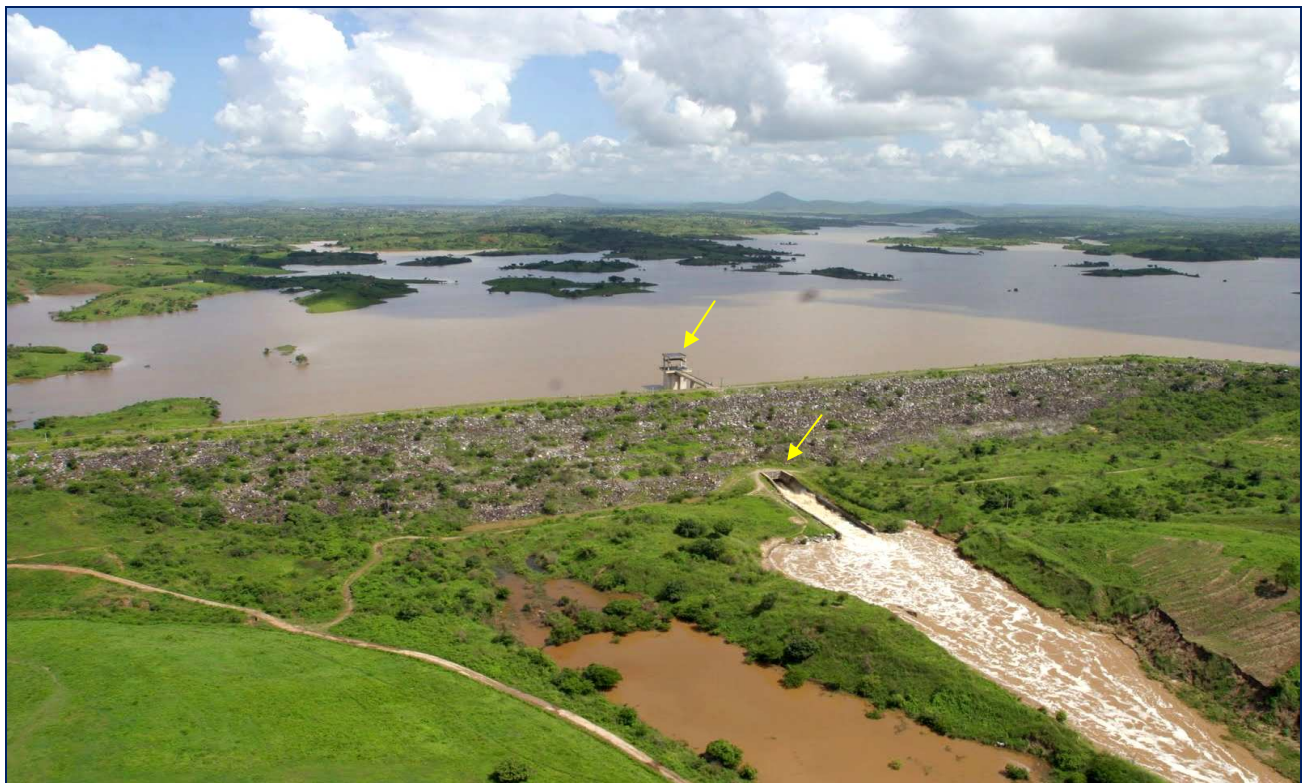


Figura X – Barragem de Carpina – Caixa de Nível (Monje) – Tubulação/Descarga de Fundo



Figura X - Sangradouro – Barragem de Bocainas



Figura X – Sangradouro – Barragem de Nova Olinda

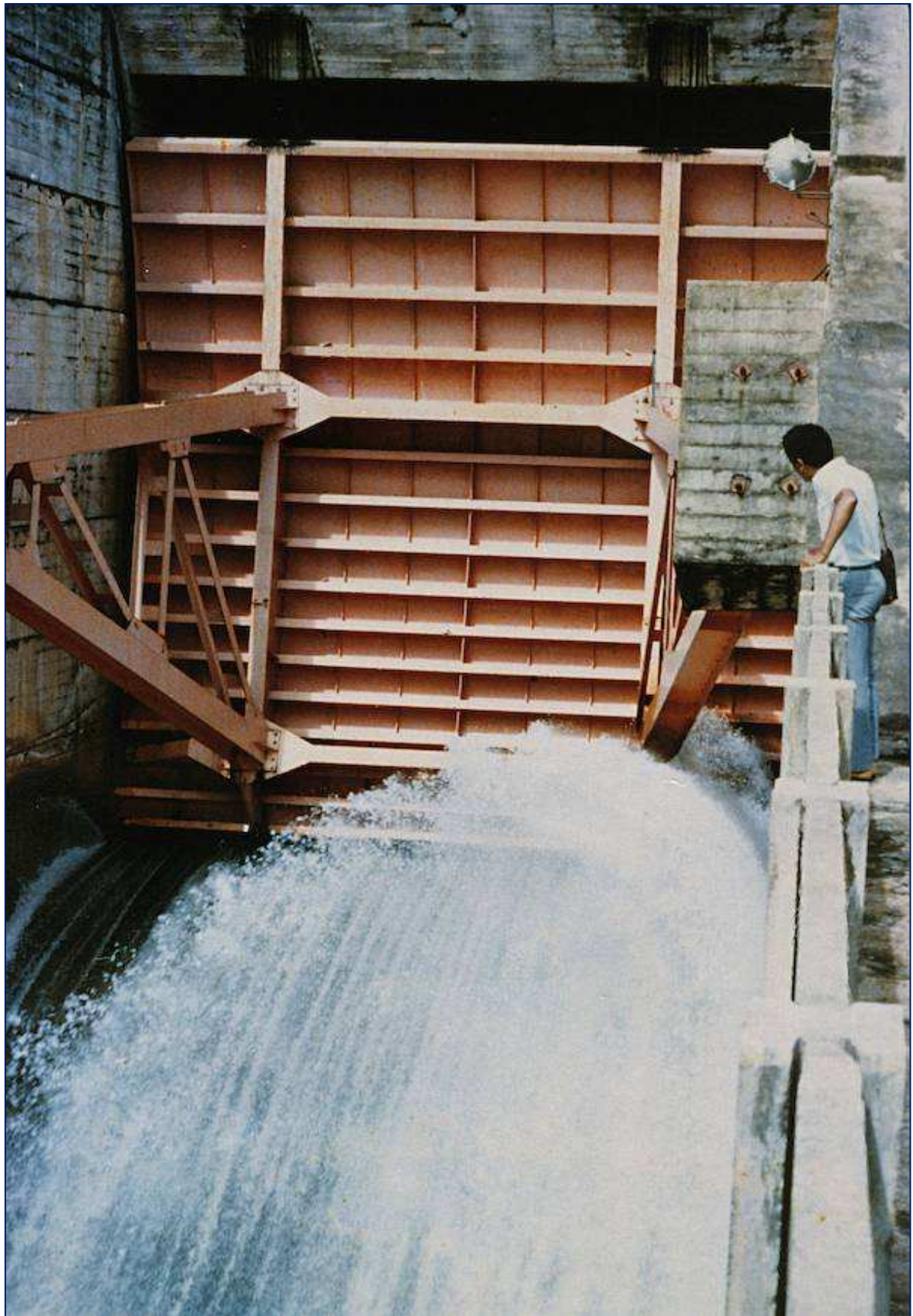


Figura X – Controle do Nível através de Comporta – Mágino

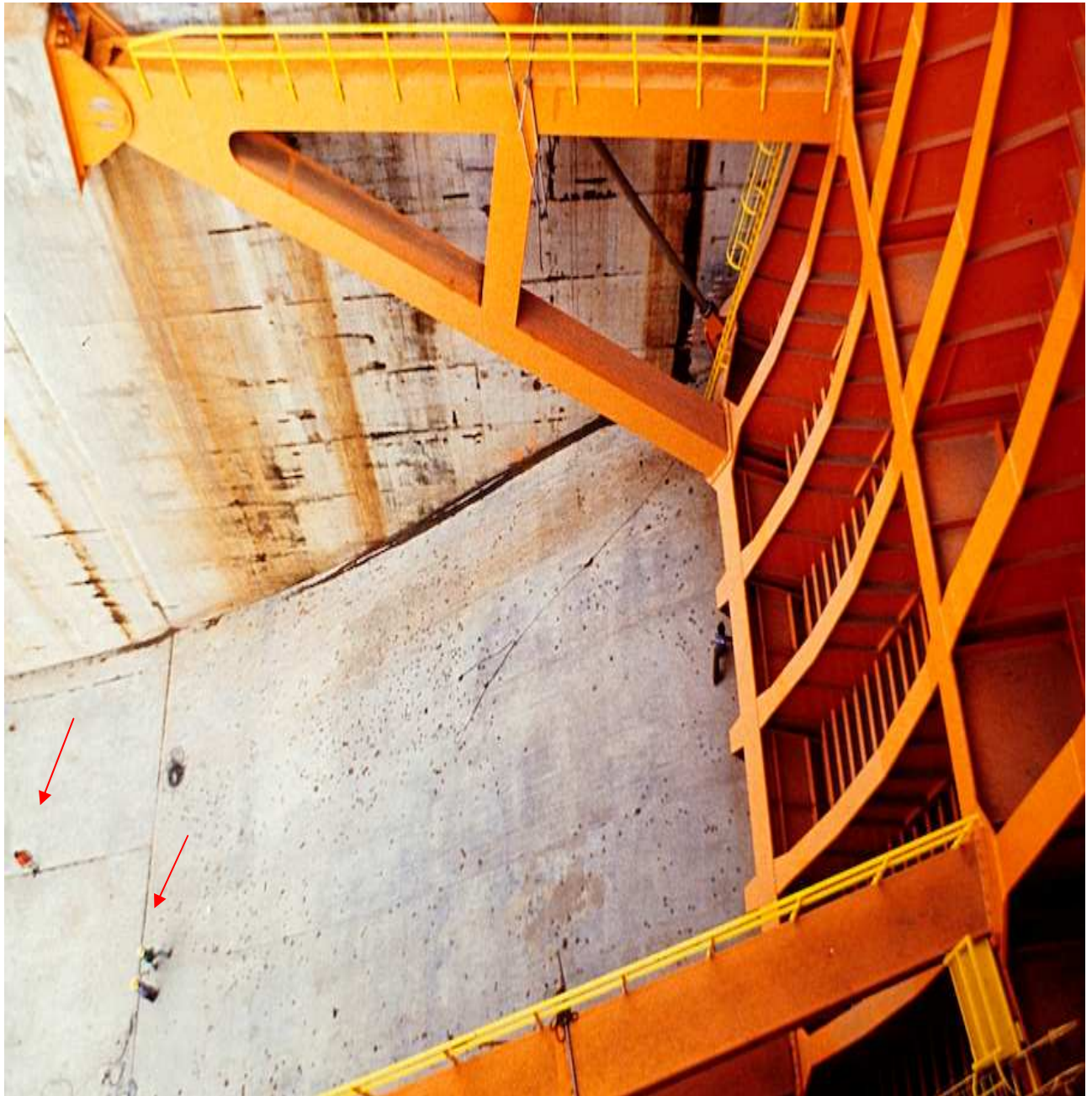


Figura X – Comporta de Itaipú (→ Operários)



Figura X – Barragem de Engenheiro Ávidos



Figura X – Comportas – Barragem Engenheiro Ávido



Figura X – Samgradouro da Barragem de Estreito em tempo de seca



Figura X – Barragem de Pindobaçu

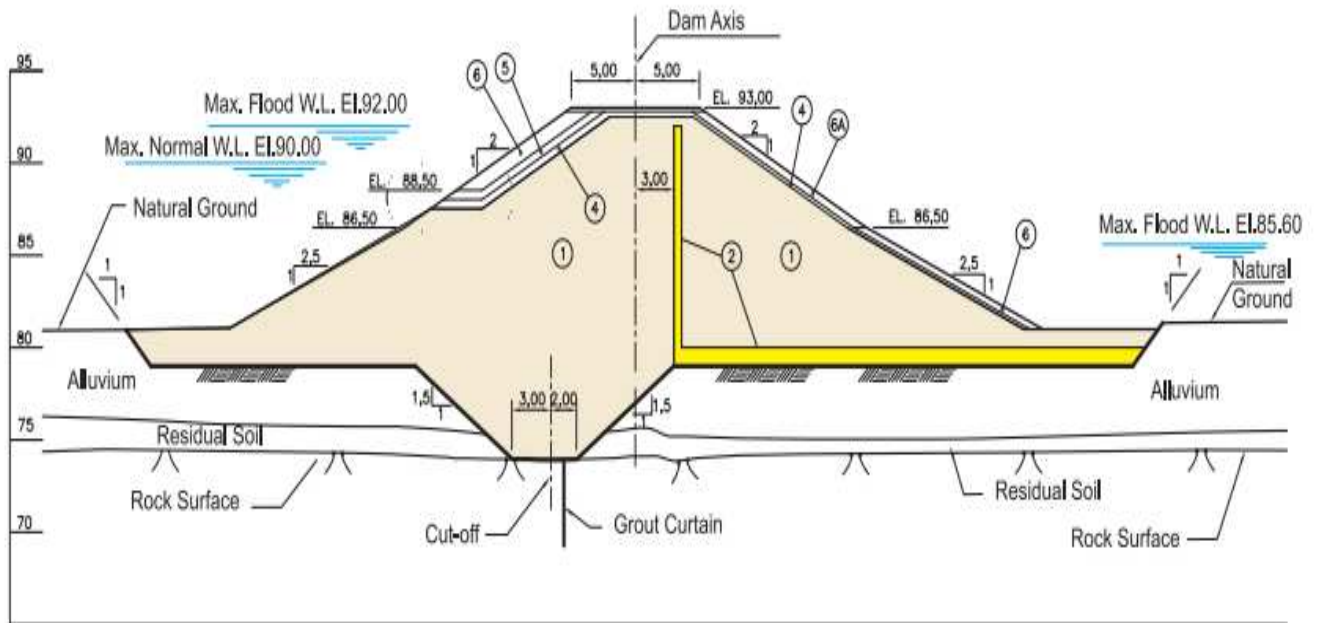


Figura X - Barragem de Aimorés – Main Brazilian Dams III – CBDB

Legend of Materials

Zone	Material
1	Clayey Soil from Borrow areas A, B & C
2	Processed Washed Sand
3	Fine Transition
3A	Coarse Transition
4	Single Transition
5	Rockfill
6	Rip-rap

Zone	Material
6A	Selected Rockfill
SL	Dumped Soil
SC	Compacted Soil
EL	Dumped Rockfill
TC	Compacted Transition
TL	Dumped Transition
RP	Primary Lining





Sangradouro de Pequena Barragem



Sangradouro de Pequena Barragem

IV .1- CRISTA

A largura da crista é determinada pelas necessidades de tráfego sobre ela, não devendo ser inferior a 3 metros, mesmo para pequenas barragens. Esta largura mínima garante condições de acesso para serviços de manutenção e também colabora na estabilidade do maciço de terra. Em barragens de maior porte, onde há tráfego freqüente de veículos esta largura geralmente varia entre 6 e 12 metros. Bureau of Reclamation (2002), recomenda que a largura mínima da crista para pequenas barragens seja calculada pela fórmula: $L = Z/5 + 3$ metros, onde Z é a altura máxima da barragem e L, a largura mínima da crista. Caso seja prevista uma estrada sobre a crista, a dimensão mínima sempre deverá ser de 5 metros.

São apresentadas na Figura IV.1.1 a crista de uma pequena barragem de terra e nas Figuras IV.1.2 e IV.1.3 a cristas de duas barragens de maior porte.

A altura da barragem, ou cota da crista, deve ser igual ao nível “máximo maximorum” da lâmina d’água, acrescido da borda livre (Capítulo V.2) definida para o reservatório (cota da crista = $NA_{máx\ Max} +$ borda livre). O nível “máximo maximorum” ou “máximo dos máximos” ($NA_{máx\ max}$) é o nível da lâmina d’água mais elevada que deverá e poderá atingir o reservatório na ocorrência da cheia de projeto.

Na crista deve haver um sistema de drenagem que permita o escoamento das águas de chuva de maneira segura, objetivando-se evitar erosões e empoçamento de água. Pode-se construir canaletas de drenagem, ou construir a crista com uma inclinação para montante, evitando que as águas de chuva escoem sobre o talude de jusante. Na Figura IV.1.4 apresenta-se a erosão de um talude de jusante, causada pelo escoamento

de águas de chuva vindas principalmente da crista. Nas Figuras IV.1.5 e IV.1.6 apresentam-se detalhes de um sistema de drenagem bem executado nos taludes de uma barragem de terra.

Não havendo tráfego de veículos sobre a pista, a mesma pode ser protegida com a plantação de grama. Havendo tráfego freqüente de veículos a crista deve ser protegida de maneira adequada, com a construção de um pavimento. Não havendo nenhuma proteção superficial na pista, pela ação das águas de chuva e mesmo pela passagem de poucos veículos, pode haver o desgaste da superfície. Apresenta-se na Figura IV.1.1 um exemplo deste fato.

Para pequeno volume de tráfego pode-se executar sobre a crista um Revestimento Primário, como é feito em estradas vicinais. IPT (1988), em seu trabalho “Estradas Vicinais de Terra”, apresenta: “ O Revestimento Primário constitui-se em uma camada colocada sobre o reforço do subleito ou diretamente sobre o subleito. Esta camada é obtida pela compactação de uma mistura (natural ou preparada) de material argiloso com material granular. A espessura desta camada deve levar em conta a quantidade e tipo de tráfego do local e as condições de suporte do subleito, variando, geralmente entre 10 e 20 cm. O objetivo da adição de argila no material granular é o de atuar como ligante e regularizar a superfície final de rolamento. O objetivo do uso de material granular é aumentar o atrito da pista com as rodas dos veículos. A dimensão máxima ideal do material granular é de 2,5 cm. Na natureza há jazidas que podem ser utilizadas diretamente para a execução do Revestimento Primário, pois são compostas de uma mistura já em proporções satisfatórias de materiais granulares e de argila. É o caso das cascalheiras de cava. No entanto, é mais comum aparecer a necessidade de se proceder a uma mistura adequada, uma vez que a maior parte das jazidas de materiais granulares é pobre em argila, como é o caso de cascalhos e pedregulhos de rio e saibros grosseiros de rochas alteradas.

A mistura pode ser executada na própria jazida, no trecho em obras, ou em qualquer pátio que se mostre adequado. As operações para que a mistura atinja a necessária homogeneidade são: -secagem e destorroamento da argila; cálculo das proporções em volume (em torno de 1 de argila para 2,5 de material granular); mistura com grade de disco, motoniveladora ou pá carregadeira. - - -; regularização e compactação da camada do subleito ou camada de reforço; escarificação (arranhamento) do leito; lançamento e espalhamento do material; umedecimento, ou secagem, se necessário; - - - ; compactação - - -.” Apresentam-se nas Figuras IV.1.7 a IV.1.14 detalhes deste procedimento. É necessário que durante a compactação se faça um controle da umidade do material para que o mesmo tenha a umidade de compactação especificada no projeto. Também é necessário um controle do grau de compactação do aterro para que o solo alcance a densidade especificada no projeto. Tanto a umidade ótima de compactação, como a densidade que o solo deve ter após compactado, são determinadas através do ensaio de compactação Proctor. Este ensaio é descrito em detalhes no capítulo VI.

Para grande volume de tráfego, deve ser executado um pavimento sobre a crista que suporte a solicitação imposta. Este pavimento deve ser projetado de acordo com critérios específicos para estradas. O dimensionamento de pavimentos não é objetivo deste trabalho, podendo-se obter informações técnicas a respeito em manuais do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) e em livros, sugerindo-se: “Manual de Técnicas de Pavimentação – Volumes I e II – De Senço, W. – Editora Pini.”

É importante observar, antes do enchimento do reservatório e antes da construção do pavimento, se a altura da crista esta condizente com o estabelecido em projeto, pois dependendo dos tipos de materiais do aterro e da fundação, os recalques (deslocamentos verticais) podem variar entre 0,2

e 0,4% da altura da barragem, isto ocorrendo durante e após a construção do aterro. Os recalques que ocorrem após a construção do maciço, devido às deformações do aterro e da fundação, devem ser estimados, para que se construa a crista com a devida sobrelevação, evitando-se assim que a crista fique com altura inferior à projetada. Estes cálculos podem ser efetuados através do resultado de ensaios de adensamento (Capítulo XX) feitos com material indeformado da fundação e com solo compactado do aterro, ou, caso haja esta possibilidade, com base em dados de instrumentação (Capítulo XX) obtidos, em uma seção da barragem construída antecipadamente.



Figura IV.1-1 – Crista de uma barragem de terra.



Figura IV.1-2 – Crista de uma barragem de terra.



Figura IV.1.3 – Construção do pavimento da crista de uma barragem.



Figura IV.1.4- Erosão no talude causada pelas águas vindas da crista.



ITAIPÚ



Figura IV.1.5- Sistema de drenagem nos taludes.



Figura IV.1.6- Sistema de drenagem nos taludes.

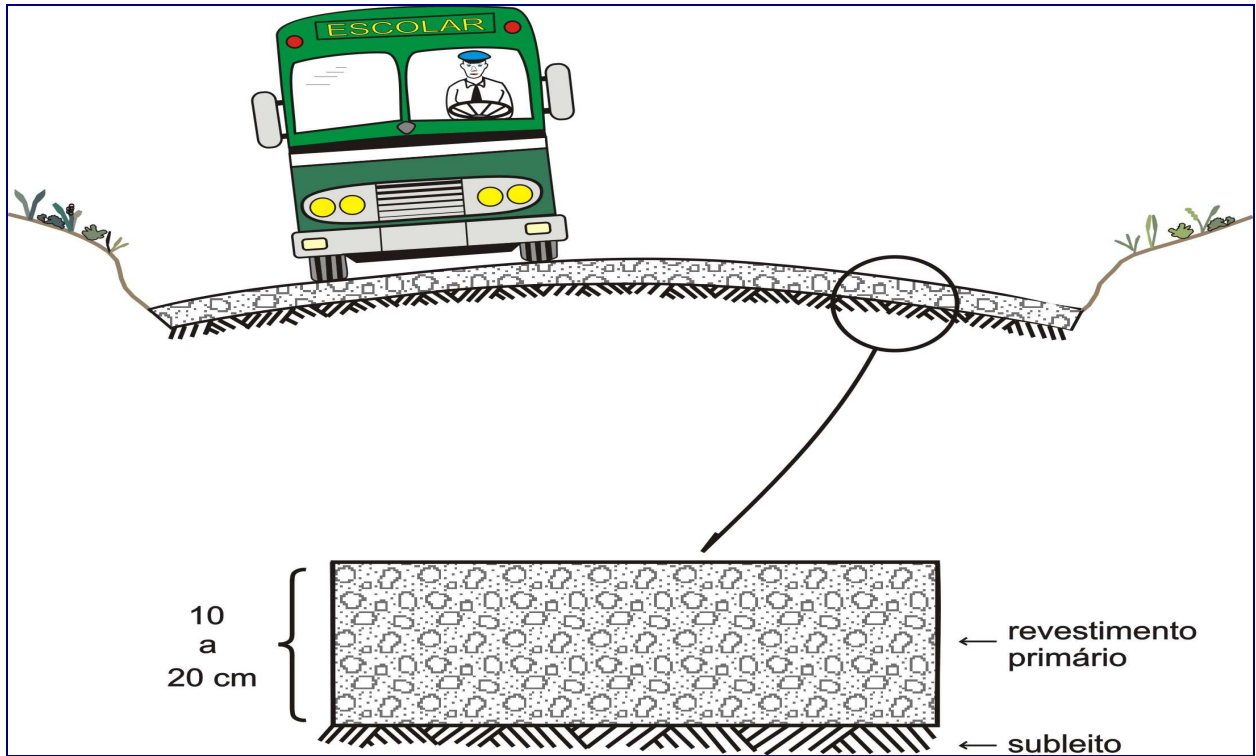


Figura IV.1.7 – Revestimento Primário.

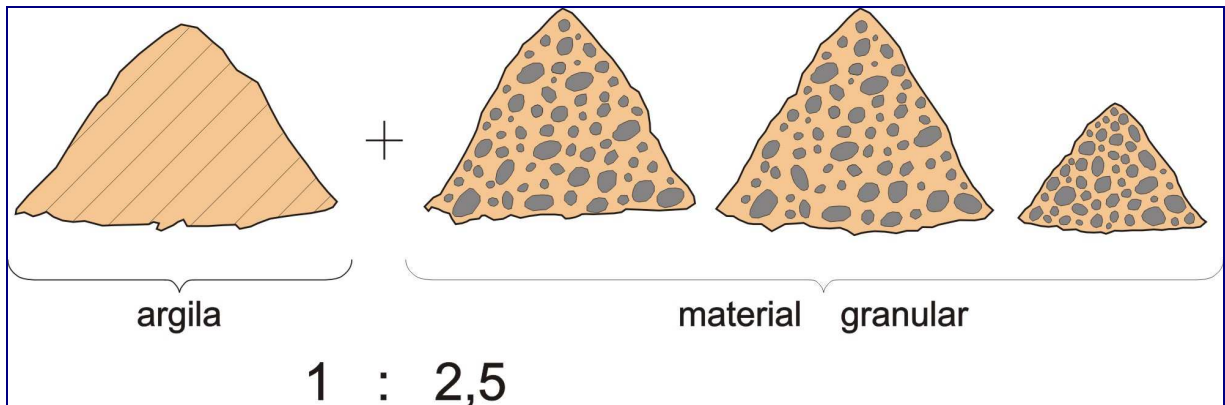


Figura IV.1.8 – Proporção da Mistura.

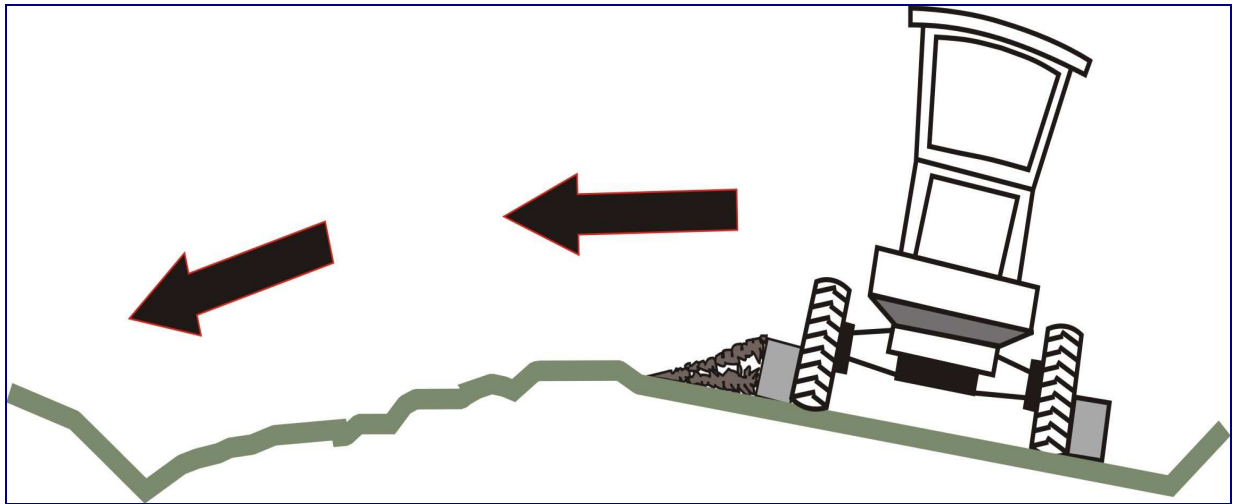


Figura IV.1.9 – regularização da superfície do aterro.

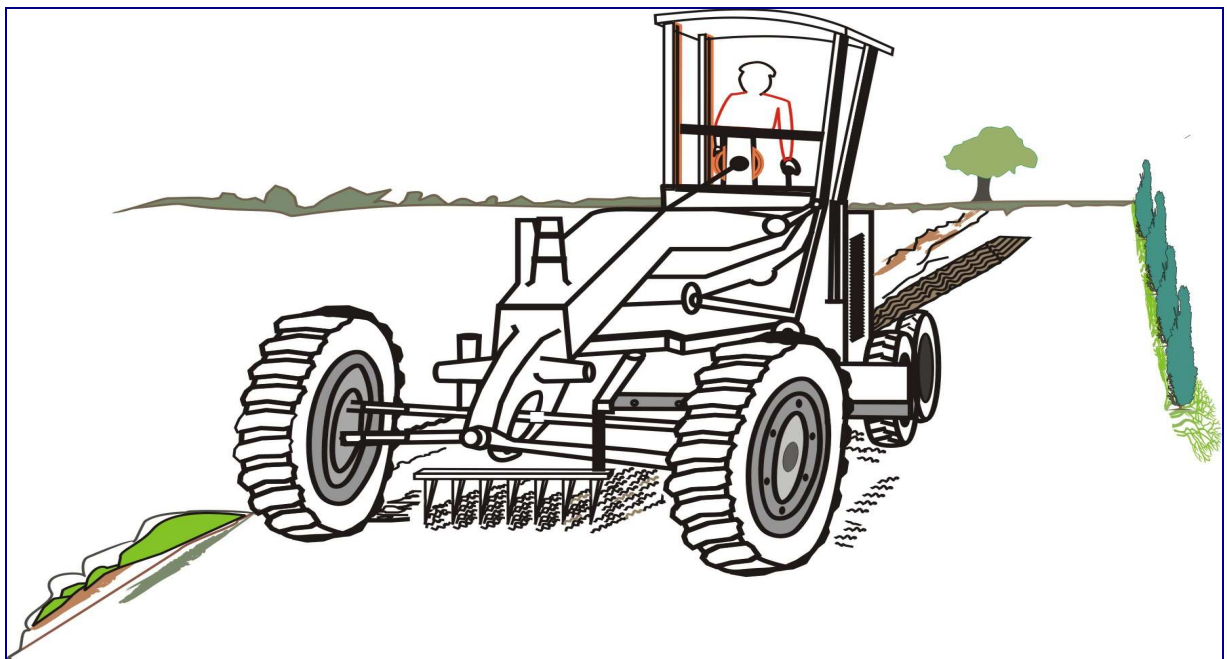


Figura IV.1.10 – Escarificação (“arranhamento”) do leito.

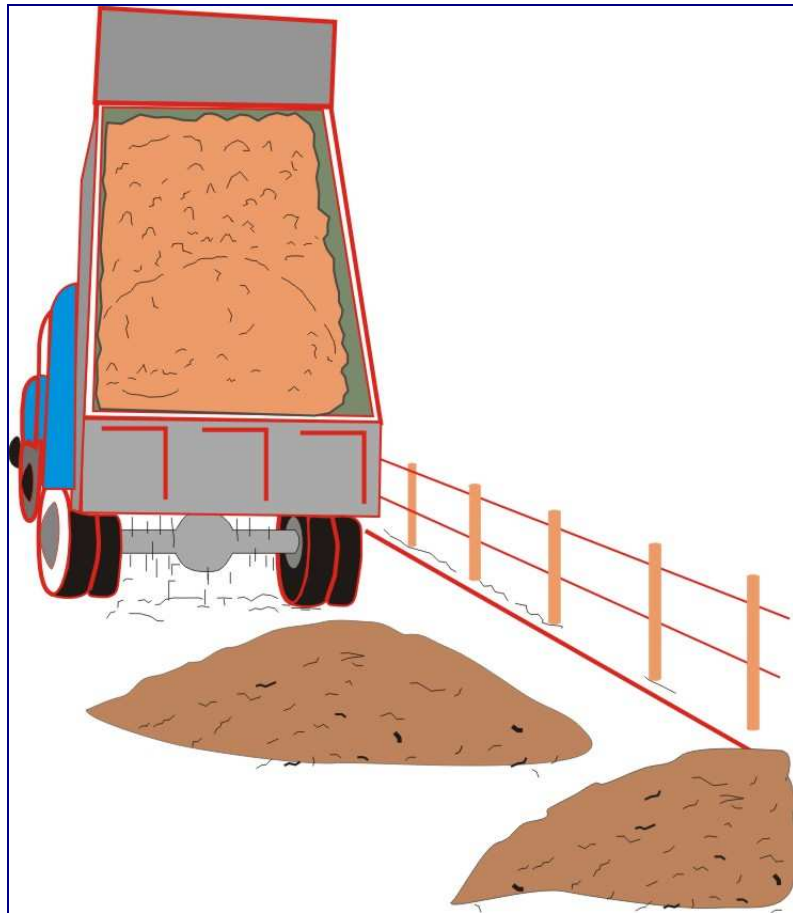


Figura IV.1.11– Lançamento do material.



Figura IV.1.12 – Espalhamento do material.

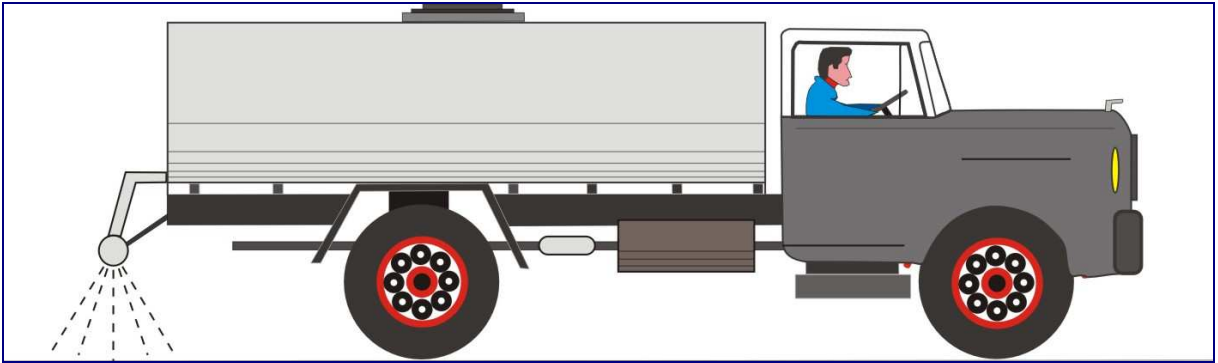


Figura IV.1.13 – umedecimento do material.

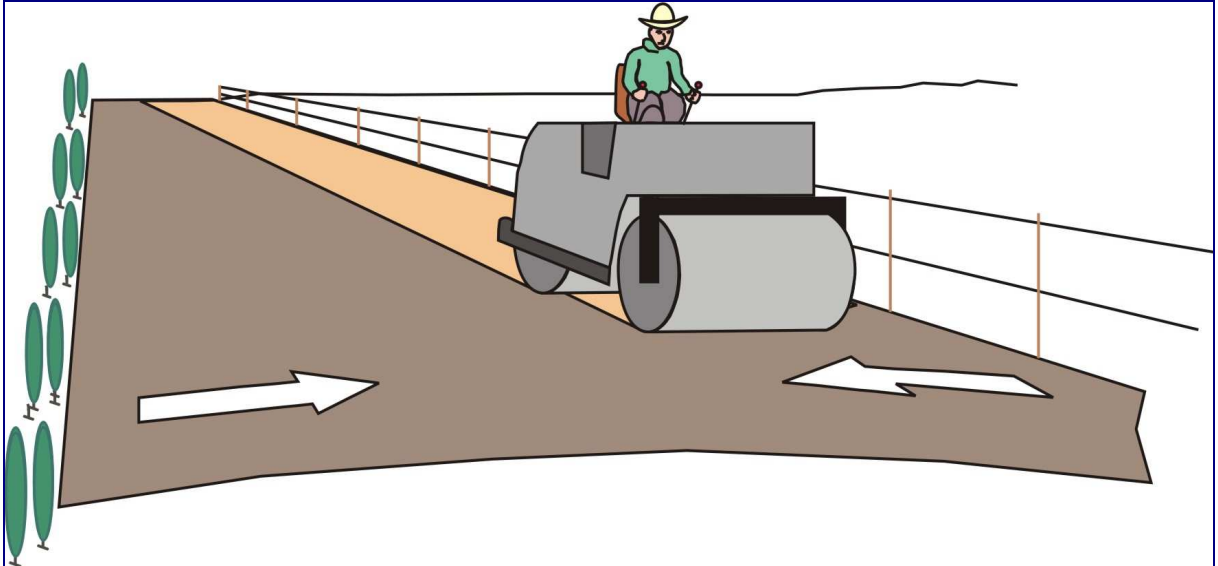


Figura IV.1.14 – Compactação com rolo compactador.



BORDA LIVRE

“The freeboard must be sufficient to prevent overtopping by waves and include an allowance for settlement of the foundation and embankment”

“US Army Corps of Engineers-2004”

IV .2- BORDA LIVRE

A borda livre (ou “folga”, “revanche”, “freeboard”) é a distância vertical entre a crista da barragem e o nível das águas do reservatório e objetiva a segurança contra o transbordamento, que pode ser provocado pela ação de ondas formadas pela ação dos ventos, evitando danos e erosão no talude de jusante. Apresenta-se na Figura IV.2.1 a borda livre de um reservatório.

A borda livre deve ser calculada considerando-se o reservatório com seu nível máximo de água. Sua determinação baseia-se na previsão da altura e ação das ondas. A ação das ondas no seu encontro com o paramento da barragem depende do ângulo de ataque da onda, da inclinação do paramento e da textura da superfície do talude.

A altura das ondas depende da velocidade e da duração do vento, da extensão do reservatório na direção do vento considerada (“fetch”) e da profundidade do reservatório.



Figura IV.2.1- Soil-cement Protection and Wave Deflector Concrete Wall - Barragem de Porto Primavera

Recomenda-se que a borda livre de um barramento, mesmo de pequenas dimensões, não seja inferior a 0,5 metro. No mínimo, o valor da borda livre deve ser igual à altura da onda máxima, acrescida de 50%, para compensar a sua corrida sobre o talude da barragem e, ainda, de um valor correspondente a um fator de segurança, variável entre 0,60 e 3,00 metros, dependendo da importância da barragem (Gaioto, 2003).

O cálculo da borda livre de uma barragem de terra deve ser realizado de acordo com a seguinte metodologia:

1- Determinação do nível de água do reservatório que servirá de referência para o cálculo da borda livre;

2- Análises dos registros de ventos;

3- Como a linha do reservatório pode ser muito irregular, deve-se calcular o “fetch” efetivo, F , através da fórmula: $F = \sum x_i \cos \alpha_i / \sum \cos \alpha_i$, onde α_i = ângulo entre a direção considerada e a direção principal do vento, e x_i = extensão do reservatório na direção α_i ; os valores de α_i devem ser tomados a cada 30° , até 45° , em ambos os lados da direção principal;

4- cálculo das características das ondas;

5- seleção final da borda livre em função dos resultados obtidos em (4), da declividade do talude da barragem e do tipo de paramento.

Para o cálculo da altura da onda máxima podem ser utilizados ábacos, como o da Figura IV.2.2 (U.S. Bureau of Reclamation), e tabelas, como a Tabela IV.2.1 (Bordeuax, G.H.R.M. 1980), que foi estabelecida pela análise de diversas fórmulas empíricas relacionando a altura da onda, o “fetch” efetivo e a velocidade do vento. O U. S. Bureau of Reclamation recomenda os valores de borda livre para taludes protegidos com rip-rap apresentados na Tabela IV.2.2 (in Bordeuax, G.H.R.M. 1980). Para pequenas barragens de terra, o Bureau of Reclamation (2002) recomenda folgas normalmente aceitáveis, apresentadas na Tabela IV.2.3. Para “fetch” com até 5,0 km e

profundidade de água junto à barragem de até 9,0, Eletrobrás (1982) sugere os valores de borda livre apresentados na Tabela IV.2.4.

Na Tabela IV.2.5 são apresentados valores de borda livre em regime de nível de água normal e em regime de água em seu nível máximo, de alguns reservatórios brasileiros de grande porte.

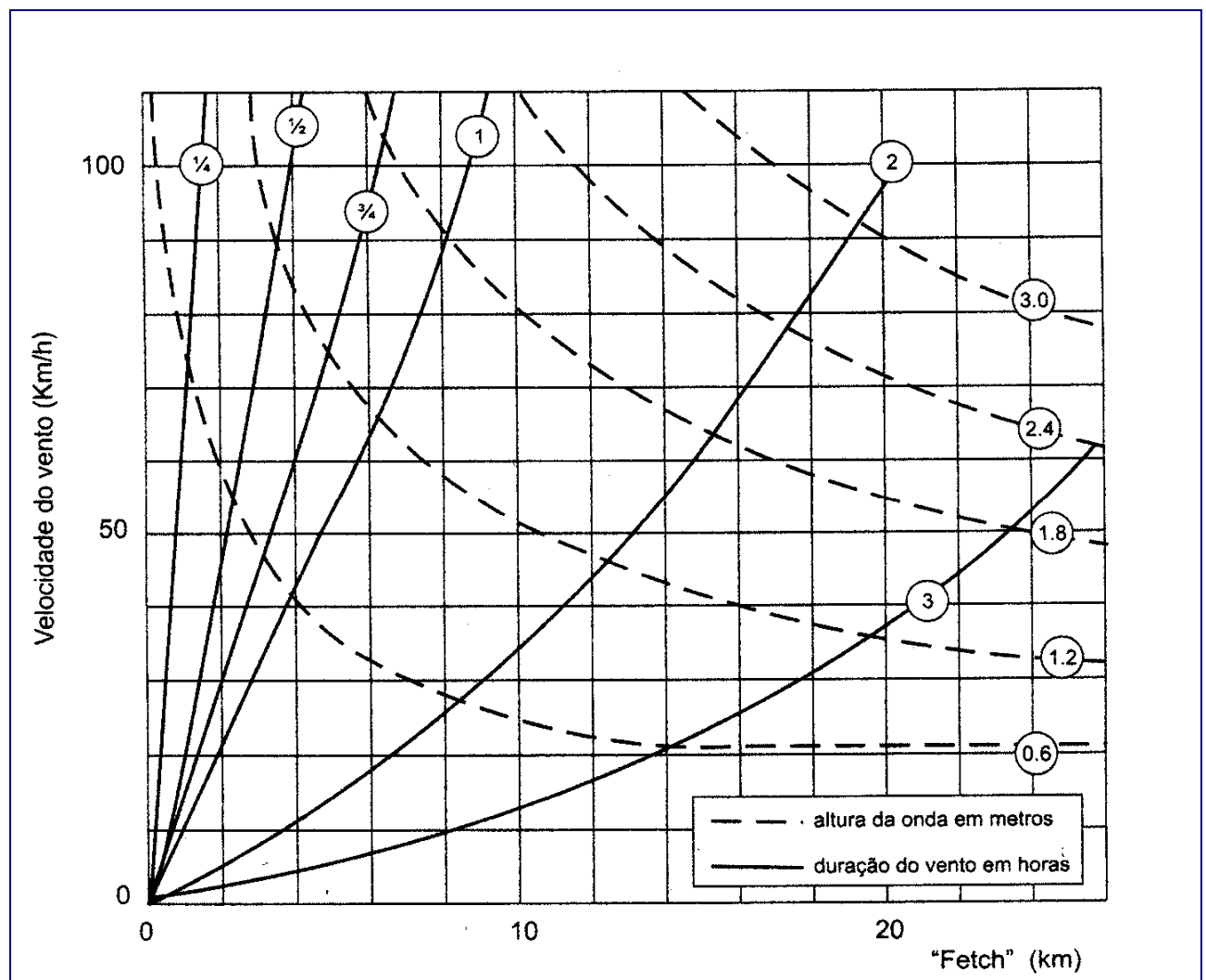


Figura IV.2.2- Determinação da altura máxima da onda (U. S. Bureau of Reclamation, in Gaioto,N., 2003)

Tabela IV.2.1 – Altura da onda em função do “fetch” e da velocidade do vento (Bordeuax, G.H.R.M. 1980).

“fetch” (quilômetros)	Altura da onda (metros)	Altura da onda (metros)	Altura da onda (metros)
	Vento: 80 km/h	Vento: 120 km/h	Vento: 160 km/h
1,6	0,81	0,9	-
4,0	0,96	1,08	1,17
8,0	1,11	1,29	1,44
16,0	1,35	1,62	1,83

Tabela IV.2.2 – Borda livre em função do “fetch” e da velocidade do vento (U.S. Bureau of Reclamation , in Bordeuax, G.H.R.M. 1980).

“fetch” (quilômetros)	Borda livre mínima (metros) com reservatório no N.A. Máx. Maximorum, para ventos de 80 km/h
< 1,6	0,9
1,6	1,2
4,0	1,5
8,0	1,8
16	2,1

Tabela IV.2.3- Borda livre normalmente aceitáveis (Bureau of Reclamation, 2002).

Fetch (quilômetros)	Borda livre mínima (metros)
< 1,5	1,0
1,5	1,2
5,0	1,5
7,5	1,8
15,0	2,0

Tabela IV.2.4- Borda livre em função da extensão do espelho d'água do reservatório na cota do NA máximo ("fetch") e da profundidade de água junto à barragem (Eletrobrás, 2000).

Profundidade da água (P) junto à barragem (m)	"fetch" 0,2 m	"fetch" 0,5 m	"fetch" 1,0 m	"fetch" 2,0 m	"fetch" 3,0 m	"fetch" 4,0 m	"fetch" 5,0 m
$P \leq 6,00$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,15	1,25
$6,00 < P \leq 10,00$	1,00	1,00	1,00	1,05	1,15	1,25	1,35

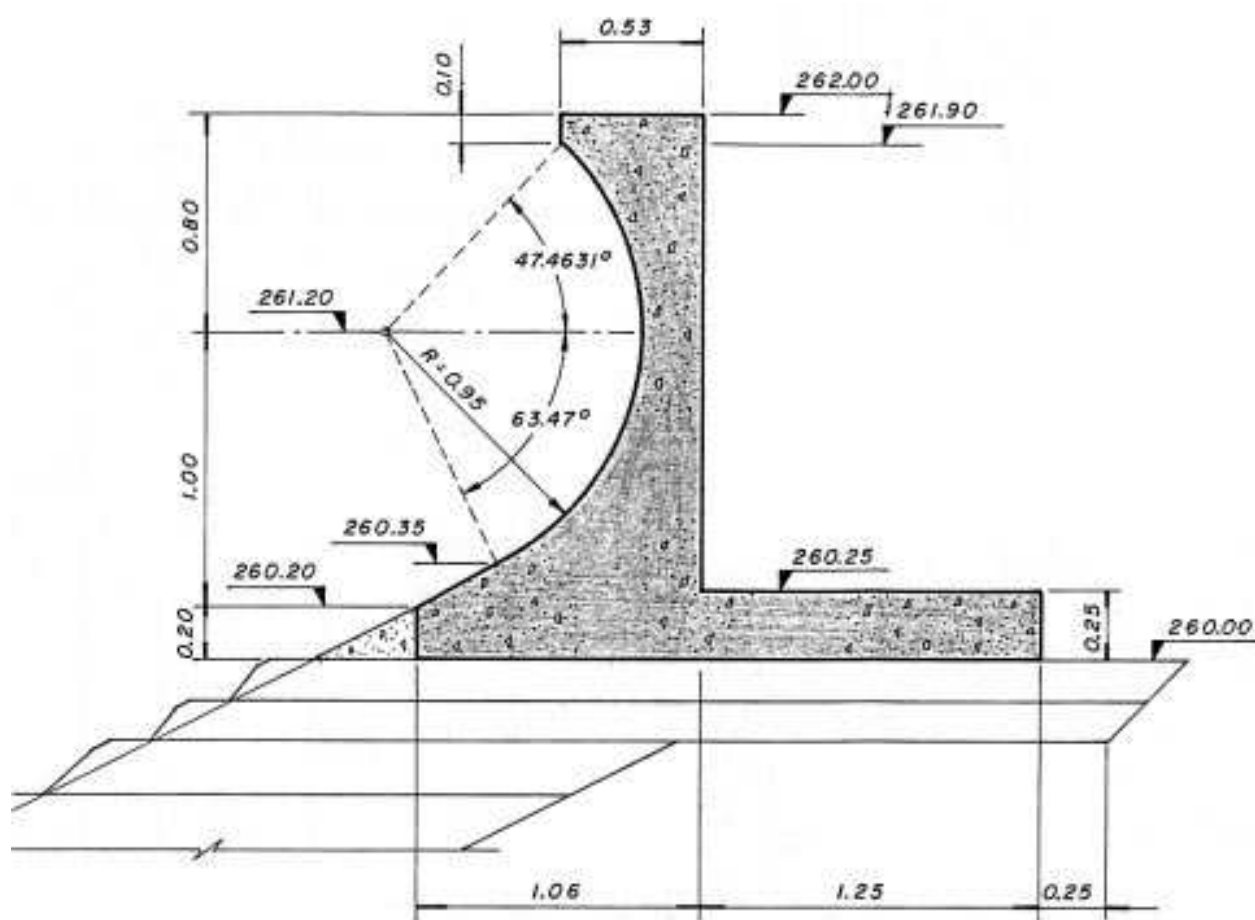


Figura IV.2.3- Wave Deflector Wall on the Dam Crest – Section - Barragem de Porto Primavera

Tabela IV.2.5 – Dimensão da Borda Livre de barramentos de grande porte (Bordeuax, G.H.R.M. 1980)

BARRAGEM	Borda Livre (metros)	
	N.A. Normal	N.A. Máximo
Água Vermelha	4,00	2,70
Atibainha	4,00	2,00
Cachoeira	5,50	2,00
Capivara	5,00	3,00
Emborcação	3,00	2,65
Estreito	6,50	2,36
Foz de Areia	5,00	3,50
Ilha Solteira	4,00	3,00
Itaipu	5,00	2,00
Tucuruí	6,00	4,00
Itumbiara	3,00	1,80
Jaguará	3,50	2,50
Marimbondo	4,20	3,14
Paraíbuna	5,00	2,50
Passo Real	4,00	2,90
Promissão	3,50	2,20
Salto Santiago	4,00	3,00
São Simão	3,00	2,20
Sobradinho	5,00	4,00



Figura X – Barragem de Rejeito – Borda livre de 1,20m. Dimensionada considerando os recalques totais previstos e a onda máxima para uma velocidade máxima de 70km/h na direção do fetch máximo