

**AMANDA FRANCIELLE MATOS CAXA**

**BARRAGENS DE TERRA: CARACTERÍSTICAS E CONSTRUÇÃO**

SÃO CARLOS  
2019  
AMANDA FRANCIELLE MATOS CAXA

# **BARRAGENS DE TERRA: CARACTERÍSTICAS E CONSTRUÇÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do Centro Universitário Central Paulista, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.**

**Orientadora: Profa. Dra. Juliana Maria Manieri Varandas**

**SÃO CARLOS**

**2019**



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, razão da minha existência, pela capacidade de atingir os objetivos da vida até o presente momento.

Aos meus pais, por terem me dado sustento e condições para que eu pudesse conseguir realizar meus objetivos.

Ao meu irmão que antes de partir sempre me incentivou para que fizesse a faculdade.

Ao meu filho que me dá forças todos os dias para lutar e vencer este desafio.

Aos meus professores, que tão prontamente disponibilizaram toda a dedicação através de conhecimentos científicos.

Aos meus amigos, da faculdade por me ajudarem nas dificuldades e por fazerem os meus dias mais divertidos.

À todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a minha educação e crescimento profissional.

“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez.”

Thomas Edison

## SUMÁRIO

---

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS .....	X
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
2.1 JUSTIFICATIVA .....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	4
4.0 RESULTADOS .....	5
4.1 SEGURANÇA E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLO NA BARRAGEM DE TERRA.....	5
4.2 DIFERENTES BARRAGENS .....	5
4.2.1 Barragem de concreto gravidade.....	5
4.2.2 Barragem de concreto estrutural com contrafortes.....	7
4.2.3 Barragem em arco de dupla curvatura.....	8
4.2.4 Barragem de terra.....	9
4.2.5 Barragem de terra e enrocamento.....	10
4.2.6 Barragem em aterro hidráulico .....	11
4.2.7 Barragem de enrocamento e face de concreto.....	12
4.2.8 Barragem de enrocamento com núcleo asfáltico .....	13
4.3 CRITÉRIOS DE BARRAGEM .....	14
4.3.1 Disponibilidade de material .....	14
4.3.2 Topografia.....	14
4.3.3 Clima.....	15
4.3.4 Material de fundação.....	15
4.3.5 Hidrológico-hidráulico.....	16
4.3.6 Preservação ambiental .....	16
4.3.7 Preço, tempo e questões construtivas .....	17

4.4 GEOTECNICA.....	17
4.4.1 Controle de fluxo.....	17
4.4.2 Percolação: aterros.....	18
4.4.3 Percolação: fundação.....	19
4.4.4 Percolação: interfaces.....	23
4.5 ESTUDO ALTERNATIVO: BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA.....	24
4.6 BARRAGEM DE TERRA: FUNDAÇÃO E ROCHA.....	25
4.7 BARRAGEM DE TERRA: MATERIAIS DE BAIXA QUALIDADE.....	25
4.8 CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM.....	26
4.8.1 Marcação do Local de Construção.....	26
4.8.2 Ativos fixos tangíveis.....	26
4.8.3 Equipamentos e Técnicas de Compactação.....	27
4.8.4 Limpeza e preparação do local.....	27
4.8.4.1 A base da barragem.....	27
4.8.4.2 Áreas de empréstimo.....	28
4.8.5 ASSENTAMENTO.....	28
4.8.6 DESCARREGADOR/VERTEDOR.....	28
4.8.7 CONSTRUÇÃO DO ATERRO.....	28
4.8.7.1 O núcleo/trincheira de vedação.....	28
4.8.7.2 Aterro.....	29
5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	30

**LISTA DE FIGURAS**

---

Figura 1 - Souza 2013 .....	6
Figura 2 - Usina Hidrelétrica de Simplício 2015.....	6
Figura 3 - Derwent/Inglaterra 2016 .....	7
Figura 4 - Usina de Itaipu/Brasil .....	7
Figura 5 - Roselend/França .....	8
Figura 6 - Gordon, Southwest National Park/Australia .....	8
Figura 7 - Santa Luiza/Brasil: arcos múltiplos .....	9
Figura 8 - Esquema de barragens de terra e enrocamento (BTE) .....	9
Figura 9 - Esquema homogênea .....	10
Figura 10 - Esquema de barragem de terra e enrocamento .....	11
Figura 12 - Esquema de aterro hidráulico .....	12
Figura 13 - Esquema de enrocamento com face de concreto.....	12
Figura 14 - Barragem de Foz do Areia/PR .....	13
Figura 15 - Foz do Chapecó/Brasil - MENDONÇA (2012) .....	13
Figura 16 - Vale “V” SAYAO (2009) .....	14
Figura 17 - Vale “U” SAYAO (2009) .....	15
Figura 18 - Barragem e o sistema de drenagem - MASSAD (2003) .....	18

Figura 19 - Exemplos de dreno para drenar - MASSAD (2003) - MASSAD (2003) .....	19
Figura 20 - Barragem de “cut-off”- MASSAD (2003) apud MENDONÇA (2012) .....	19
Figura 21 - Barragem de “cut-off” e fuga de água- MASSAD (2003) apud MENDONÇA (2012) ....	20
Figura 22 - Parede diafragma MASSAD (2003) apud MENDONÇA (2012) .....	20
Figura 23 - Poço de alívio construído primeiramente, logo após o aterro MASSAD (2003) .....	21
Figura 24 - Poço de alívio construído logo depois que a barragem já estava sendo operada MASSAD (2003) .....	21
Figura 25 - Filtros invertidos - MASSAD (2003) .....	21
Figura 26 - Demonstração do Tapete - BOSCOV (2019) .....	22
Figura 27 - Linhas de drenos- MENDONÇA (2012) .....	23
Figura 28 - Seção: BB - Souza (2013) .....	24
Figura 29 - Seção: AA - Souza (2013) .....	24

## **LISTA DE TABELAS**

---

Tabela 1 - Materiais e Barragens - SAYAO (2009) .....	14
Tabela 2 - Rocha e Barragem - MARQUES FILHO e GERALDO (1998) .....	16
Tabela 3 - Vazamentos aceitos nas fundações - SANDRONI (2012) .....	19
Tabela 4 - Tamanho da barragem e profundidade da cortina - SANDRONI (2012) .....	22
Tabela 5 - Volumes parcial - Souza (2013) .....	25
Tabela 6 - Volume total - Souza (2013) .....	25

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

---

AASHTO : American Association of State Highway and Transportation

Officials CD:compactação dinâmica

CE: Compactação estática

CP: Compactação por pisoteamento

E: Módulo de Young

IP: Índice de plasticidade

LL: Limite de liquidez

LP: Limite de plasticidade

LVDT: Linear Variable Differential Transducer

Mr: Módulo de Resiliência

St: Sucção total

Sm: Sucção matricial

So: Sucção osmótica

w: Teor de umidade (%)

wót: Teor de umidade ótimo (%)

□p: Deformação permanente

□r: Deformação específica axial recuperável

□: Dinâmetro do corpo de prova

□d: Peso específico aparente seco

□dmáx: Peso específico aparente seco máximo

□s: Peso específico real dos grãos

□c: Tensão confinante

□d: Tensão desvio

# 1 INTRODUÇÃO

---

A barragem de terra é construída com o intuito de controlar o fluxo de água, são estruturas que dependem da sua massa para resistir ao deslizamento e tombamento, são o tipo de barragem mais comum (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011), o mesmo aponta as vantagens envolvidas na construção de barragens de terra:

- Utilização de matérias naturais;
- A produção necessita de pequenos ativos fixos tangíveis;
- A fundações tem menos exigências;
- Barragens de terra resistem ao assentamento e movimentos melhor do que estruturas mais rígidas (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011)

As barragens de terra têm uma estrutura capaz de aglomerar a água possibilitando o “depositório de águas de chuvas e reservatórios para abastecimento de curso de água” (TEIXEIRA, 2016).

A construção de uma barragem de terra precisa-se atender, segundo Teixeira (2016), condições como: fornecimento de água para as pessoas, criações de animais; armazenamento de água com o objetivo de utilizar em irrigações.

Conforme Sayao (2009) as barragens tem o objetivo proporcionar água para o consumo humano. No Brasil, 82% das construções de barragens são de terra e enrocamento, os outros restantes corresponde as barragens de concreto.

Complementando a ideia, Souza (2013) as estruturas das barragens é para conter o nível de água, gerando um reservatório. Sendo utilizada para diferentes funções, como: eletricidade, irrigação (regar) e fornecimento de água para as pessoas.

Uma barragem precisa ser composta por:

- a) Estrutura;
- b) Bacia de contenção;
- c) Áreas de fundação
- d) Vertedouros;
- e) Instrumentos como: piezômetros (pressões estatísticas), medidores de recalque (monitoramento de rupturas e infiltrações), etc.

f) Instalações de meios comunicativos e de manutenção (SOUZA, 2013).

'O Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB – (2011) as barragens são consideradas fundamentais para o desenvolvimento. A sua construção é importante devido à ausência de água no período seco e para solucionar, sua construção tinha finalidade em armazenar água.

Através dessa introdução sobre barragem de terra, o objetivo central do tema é coletar dados sobre as barragens de terra e formar um artigo com todos os dados importantes sobre o assunto, utilizando diferentes autores para contribuir com a elaboração.

## **2 OBJETIVOS**

---

O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre barragens de terra, com a finalidade de discorrer sobre a sua construção e principais características, bem como apontar as vantagens e desvantagens em relação a outros tipos de barragens.

### **2.1 Justificativa**

Devido à grande frequência na construção de barragens de terra no Brasil para diversos fins, torna-se de extrema importância que o profissional habilitado para a sua construção conheça de forma aprofundada sobre a construção e segurança deste tipo de barragem.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

---

Serão observados aspectos e características das barragens, através de normas e métodos construtivos utilizados através dos anos até os dias atuais.

Para que não aconteça o que houve nos últimos anos no Brasil é importante ressaltar que os materiais e também os métodos venham ser executados de maneira correta para assim chegar nos padrões mínimos de segurança.

O método será um conjunto de atividades como conhecer o local e retirar as amostras para testes onde será observado a composição do solo para a verificação da melhor forma construtiva.

Na etapa 1 será verificado a compatibilidade entre os diferentes procedimentos de classificação/ identificação dos solos; e na etapa 2 etapas a escolha de qual tipo de barragem será realizada conforme índices e tabelas realizados por engenheiros. Depois de iniciado a barragem que é como uma barreira. Será, de maneira controlada, planejada e segurada os rejeitos que foram gerados no processo de beneficiamento do minério.

Tudo o que sobra, ou seja, rejeitos são transportados e dispostos em forma de polpa, que é "uma fração líquida com sólidos em suspensão", quando dispostos nas barragens, os rejeitos passam por várias transformações físicas com o passar do tempo como:

- Fase de construção que é a sedimentação, adensamento, compressão imediata e filtração.
- Concluídos os trabalhos de disposição Adensamento e filtração.
- Vida útil da barragem Dessecação e desnaturação.

## **4.0 RESULTADOS**

---

### **4.1 SEGURANÇA E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS NA BARRAGEM DE TERRA**

Nessa secção será apresentada a segurança necessária para construção de barragem de terra, precisa-se atender requisitos importantes para sua constituição, são eles: avaliar o local e conhecer as técnicas construtivas (TEIXEIRA, 2016).

Para a segurança na construção é importante a classificação dos solos no local de construção, de acordo com Teixeira (2016), os Solos com detecção de rochas, não transmite firmeza entre os maciços e lajedos, possibilitando deslizamento; Solos firmes, profundos e argilosos obtém firmeza entre a barragem e o solo, graças a aração; Solos arenosos, pode ocorrer infiltração de água, comprometendo a estruturação da barragem; Solos úmidos e com brejos, não proporciona firmeza e causa desmoronamento.

Outra segurança necessária com a barragem de terra, Teixeira (2016) indica seguir a temporada certa do ano (seco); limpeza da área para sua construção e onde a água será mantida; marcação da largura com alinhamentos e estacas, analisando o percurso da água; abertura da vala feita por uma retroescavadeira; construção no núcleo impermeável feita com auxílio do trator para mover a terra para a vala; marcação do tamanho da base e da barragem feita em cada talude; com todas as marcações realizadas começa a construção do bloco de terra; desarenador para a levantamento da barragem; orientações dos taludes e nivelando a crista da barragem para atingir a certa altura.

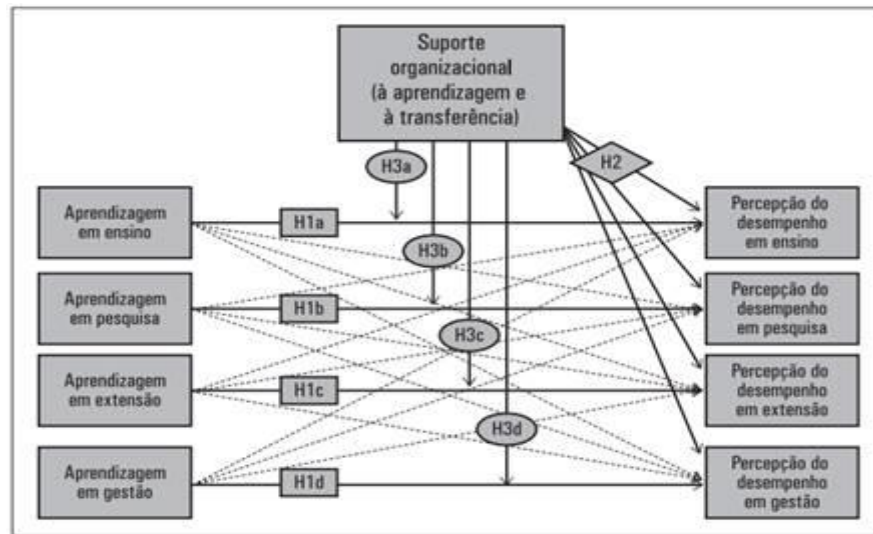
A segurança das barragens é fundamental para a prevenção de desmoronamentos e acidentes, assim, todas as pessoas envolvidas estarão trabalhando em um local com uma maior chance de segurança, praticamente nulas. Diante disso, as condições de segurança devem ser revisadas rigidamente, levando em consideração acontecimentos futuros que podem afetar a estrutura.

### **4.2 DIFERENTES BARRAGENS**

#### **4.2.1 Barragem de Concreto Gravidade**

As barragens de concreto de gravidade são maciças (bloco) e aliviada ou vazadas (Figura 1). Segundo Souza (2013) os materiais utilizados, são:

Figura 1



Souza 2013

Concreto convencional (mais utilizados em obras);  
 Ciclópico (construção de grandes pedras);  
 CCR (concreto compactado de rolo)

O CCR é utilizado nas barragens brasileiras, por causa de ser barato e ter benefício de facilidade de execução, um a Figura 2.

Figura 2



Usina Hidrelétrica de Simplício 2015

Uma outra vantagem é que são capazes de suportar a ruptura da barragem de terra (galgamento), como é mostrado na Inglaterra (Figura 3).

Figura 3

**Derwent/Inglaterra 2016**

#### **4.2.2 Barragem de Concreto Estrutural com Contrafortes**

De acordo com SAYAO (2009), essa barragem é composta por laje e apoiada por contrafortes, assim, essa barragem deve ser composta por rocha com maior nível de firmeza. Desvantagem, nesses tipos de barragens com contrafortes exigem um projeto estrutural mais complexo e o uso de um número maior de fôrmas na execução dos contrafortes.

Essa barragem tem como principais vantagens, Souza (2016) explica que quanto o volume precisar ser menor, assim, a sub pressão da base também será, como apresentadas na Figura 4 e 5.

Figura 4

**Usina de Itaipu/Brasil**

Figura 5

**Roselend/França**

#### **4.2.3 Barragem em Arco de Dupla Curvatura**

A Barragem em arco de dupla curvatura tem uma baixa capacidade (Figura 6 e 7), elas são indicadas para áreas inflexíveis e intensas.

Figura 6

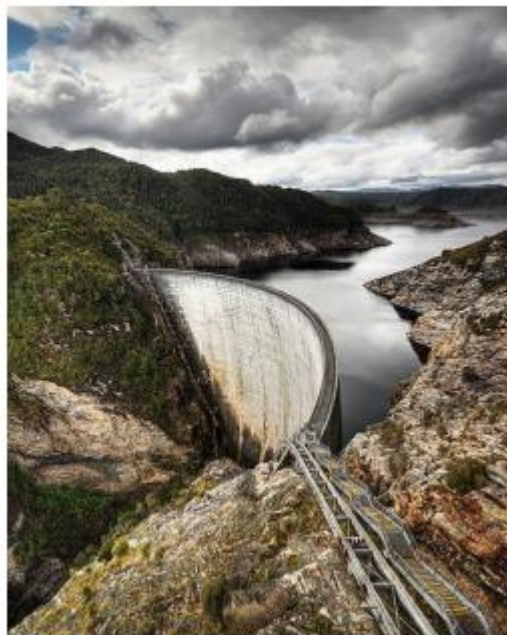
**Gordon, Southwest National Park/Australia**

Figura 7

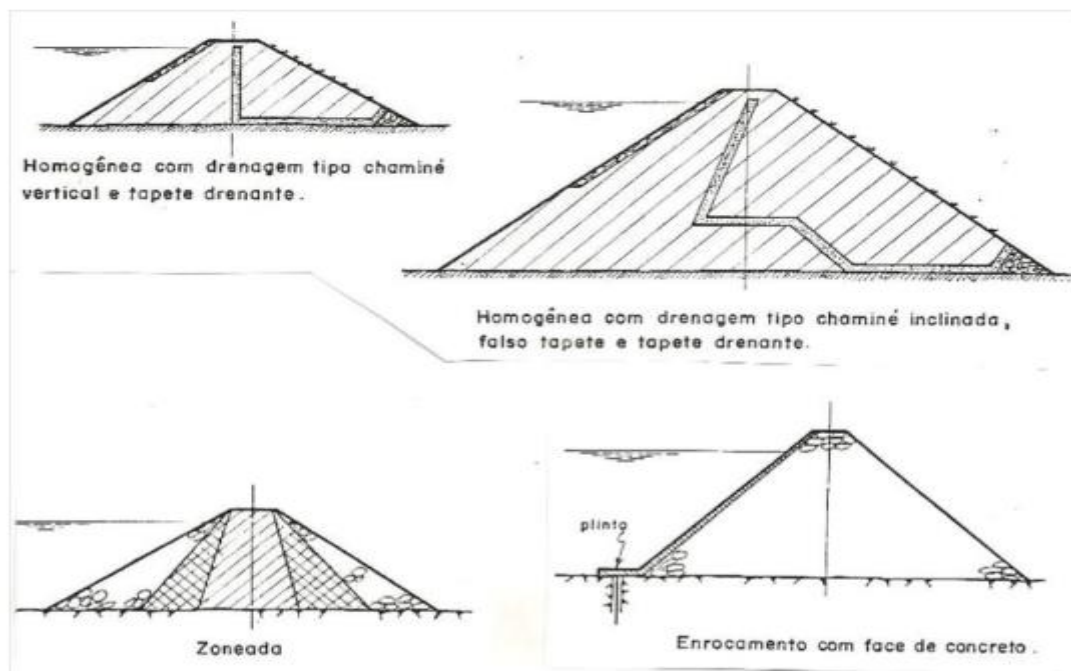


Santa Luiza/Brasil: arcos múltiplos

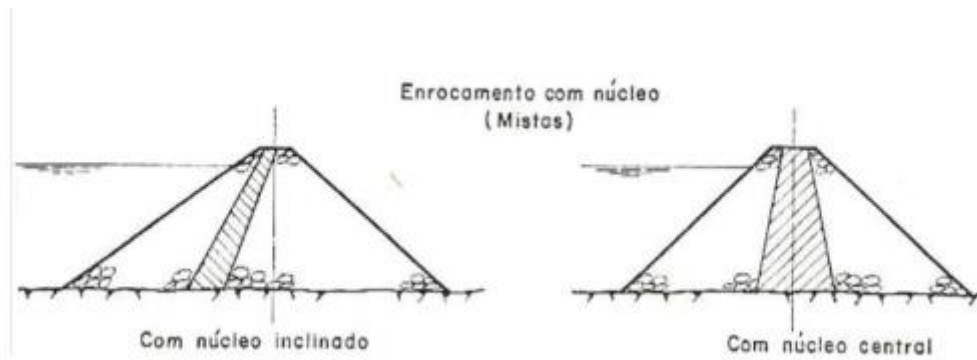
#### 4.2.4 Barragem de Terra

As barragens de terra são muito mal construídas no Brasil, pois é fundada em vales grandes e utiliza na maior parte das vezes o solo para sua construção. Essas barragens precisam de uma grande medida de materiais, como: argila, respaldo, filtros e drenos (SOUZA, 2013), precisando providenciar os matérias antes de construir.

Figura 8



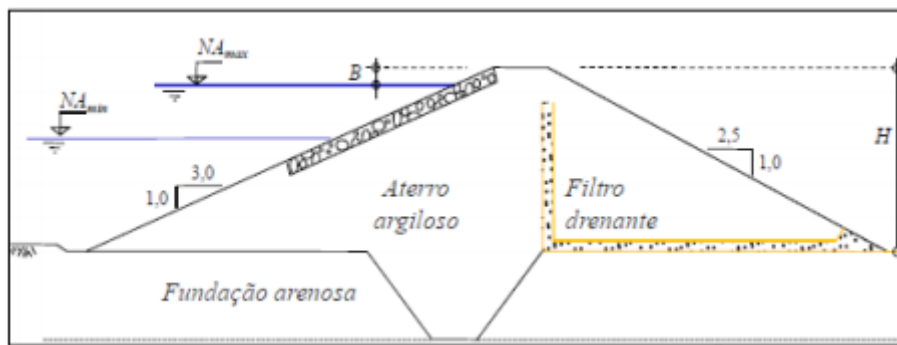
Esquema de barragens de terra e enrocamento (BTE)



Esquema de barragens de terra e enrocamento (BTE)

As barragens de terra homogêneas ou zoneadas, são constituídas em solos diferentes, o solo precisa estar compactado ou em estados diferentes, assim, estará pronto para a implementação de materiais.

Figura 9



Esquema homogênea

#### 4.2.5 Barragem de Terra e Enrocamento

Uma barragem de terra é formada por solo argiloso, proporciona fechamento da barragem, enquanto o enrocamento garante resistência e eficiência da estrutura, pois, é composta por rochas, demonstrados nas Figuras 10 e 11.

Figura 10

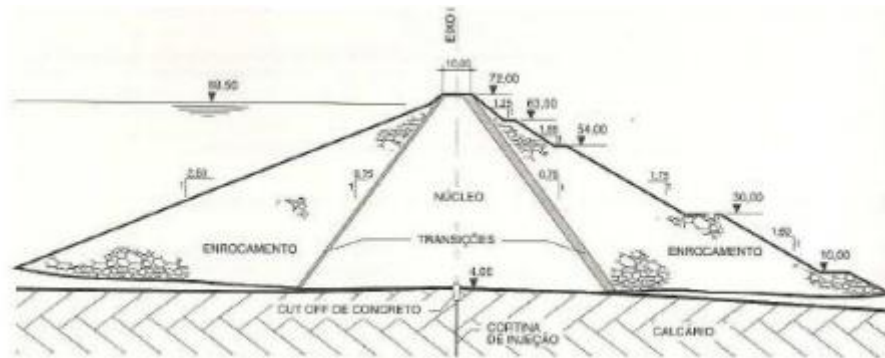
**Esquema de barragem de terra e Enrocamento**

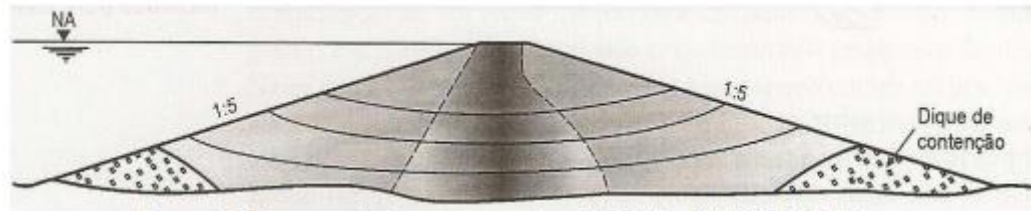
Figura 11

**Lajoie/Canadá**

#### 4.2.6 Barragem em Aterro Hidráulico

A Barragem em aterro hidráulico possibilita a constituição de areia ou mineração, segundo Souza (2019) explica que seu diferencial é que o material do aterro é transportado em um condutor junto de água, aproximadamente 85%. E sua vantagem é o baixo custo, mas ocorre a formação de areia fofa, pois, seu encosto não é compactado, assim, é sujeito a liquefação (transformando para o líquido).

Figura 12



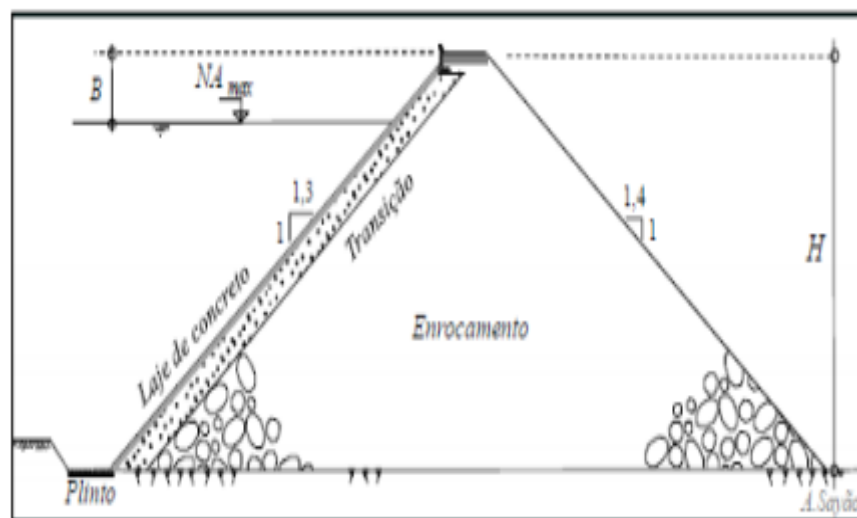
Esquema de aterro hidráulico

#### 4.2.7 Barragem de Enrocamento e Face de Concreto

Contem nessa barragem enrocamentos e placas de concreto, pedindo mais atenção para sua construção, pois, as placas de concreto podem estar colocadas de maneira deformável, enquanto a de enrocamento pode sofrer resistências na hora do enchimento de água.

Para Souza (2013) as vantagens dessa barragem, são: construção mais flexíveis, fáceis e rápidas, pois, não depende do clima para a iniciação, além de utilizar menos material e tem um levantamento maior da estrutura, mas tomando cuidados nas resistências das estruturas.

Figura 13



Esquema de enrocamento com face de concreto

Figura 14

**Barragem de Foz do Areia/PR**

#### 4.2.8 Barragem de Enrocamento com Núcleo Asfáltico

Último exemplo de barragem é composta por um núcleo asfáltico, no qual há menos não de massas de enrocamentos e não depende do clima para sua construção.

Figura 15

**Foz do Chapecó/Brasil - MENDONÇA (2012)**

### 4.3 CRITÉRIOS DE BARRAGEM

#### 4.3.1 Disponibilidade de Material

A averiguação dos materiais encontrados na área para a construção da barragem, assim, podendo aproveitá-los. Essa análise é feita pela geotécnica sobre o solo, conforme Souza (2013), indica que depende do tipo de barragem para utilizar os materiais encontrados na região.

Tabela 1

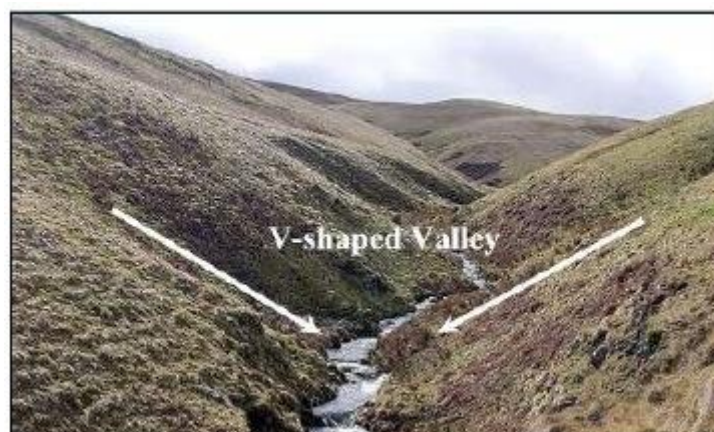
<b>Material disponível</b>	<b>Tipo de barragem mais indicado</b>
região de basalto - argila	barragem de terra homogênea
região de granito - rocha (enrocamento e agregado para concreto)	barragem de terra e enrocamento ou de concreto gravidade
região com pouca argila	barragem com núcleo delgado ou face de concreto
região com solos distintos	barragem zoneada

**Materiais e Barragens - SAYAO (2009)**

#### 4.3.2 Topografia

A topografia analisará as proporções da região, a barragem pode ser construída de duas formas, em vale “V” ou “U” apresentados na Figura 16 e 17.

Figura 16



**Vale “V” SAYAO (2009)**

### Vale “V” SAYAO (2009)

Figura 17



### Vale “U” SAYAO (2009)

#### 4.3.3 Clima

O recorte temporal altera o solo e influencia na construção, prejudicando a entrega da barragem. Sua construção necessita de verificação da temperatura para a montagem do cronograma e na escala da barragem adequada que será construída, pois, a constituição da barragem tem que ser de acordo com o temporal que atua naquela região.

Nessa perspectiva, Souza (2013) relata que as regiões de clima úmido contem solos finos, enquanto o clima seco tem solos grosseiros. A construção da barragem precisa analisar o volume e a durabilidade das chuvas para identificar qual barragem é adequada para aquele local.

#### 4.3.4 Material de Fundação

O material de fundação, depende das propriedades da fundação e quais os tratamentos adequados para aquele solo. Para identificar quais tratamentos de fundação são necessários para aquele solo, a Tabela 2 demonstra quais barragens mais uteis em fundação de rocha.

Tabela 2

Classe de rocha	Simb	Rocha	Resistência a compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Tipo de barragem adequada
muito resistente	R1	granitos, diabásios, basaltos maciços, andesitos, gnaisses, migmatitos, quartzitos, calcáreo, metarenito, metagrauvaca. (são muito mais resistentes que o concreto)	>120	>50	Qualquer
resistente	R2	Basaltos vesiculares, quartzo, anfibólio-xisto, arenito, grauvacas e silito. (são mais resistentes que o concreto)	120 a 60	50 a 20	menos adequadas p/ bar. de concreto em arco
pouco resistente	R3	Tufos soldados, brechas basálticas, micaxisto, filitos quartzosos, folhelhos silicos compactos e arenitos medianamente resistentes.	60 a 30	20 a 5	Não apropriadas p/ bar. de concreto em arco ou em contrafortes
branda	R4	Folhelhos argilosos, arenitos brandos, filitos grafitosos, talco-xistos, etc.	30 a 10	5 a 1	estruturas de gravidade
muita branda	R5	Argilitos, silitos brandos	<10	<1	estruturas de gravidade

#### Rocha e Barragem - MARQUES FILHO e GERALDO (1998)

Após análise da tabela, Souza (2013) conclui que as barragens mais apropriadas são as de terra e enrocamento, pois, contem transformações que as outras e as fundações em comparação com as de rocha.

#### 4.3.5 Hidrológico - Hidráulico

O Hidrológico-hidráulico é o estudo da rapidez do volume do rio, depositório e altura das bordas são utilizados para a determinar na construção a tamanho da barragem. Esse estudo possibilita verificar se a barragem precisa de uma medicação e controle do volume do rio, assim, capazes de aguentar o galgamento.

#### 4.3.6 Preservação Ambiental

Sobre a questão ambiental, a construção da barragem precisa ser estudada com o fim de não causar mais problemas ambientais, a análise é para identificar quais áreas podem

ocorrer escavação e desmatamento, dependendo da área precisa de uma diferente barragem, não podendo construir qualquer uma. Esse estudo é realizado no começo da construção, na época de escolha de local e análise da região.

#### **4.3.7 Preço, tempo e questões construtivas**

Nesses três itens, seu objetivo é estabelecer o prazo de entrega e o custo final de toda a obra, assim, facilitando na identificação da barragem que será construída. Para Souza (2013), as questões construtivas, aborda a acessibilidade dos equipamentos a serem utilizadas, a mão-de-obra contratada e experiência dos funcionários sobre a barragem a ser construída.

### **4.4 GEOTECNICA**

As barragens de terra e enrocamento construídas no Brasil são compostas por terra e enrocamento, isso porque essas barragens são as primeiras construídas em regiões com muito argila e sem granito. As barragens de terra contem mais estudos geotécnicos, pois, precisa estudar, analisar e verificação o solo para sua construção.

#### **4.4.1 Controle de fluxo**

As barragens não impendem que a água não ultrapasse, dependendo do volume de água é impossível conter a passagem, ainda que um tanto de volume de água não tem problema. No entanto, há a necessidade de realização de verificação de volume de água que conseguiu ultrapassar não coloca em risco a barragem, nessa ideia, o estudo de controle de fluxo tem o objetivo de evitar vazamentos e a pressão da água. Conforme Sandroni (2012), o carreamento pode acontecer através de:

Entupimento de elementos fundamentais nas barragens e nas fundações comprometendo a estabilidade e eficiência da obra;

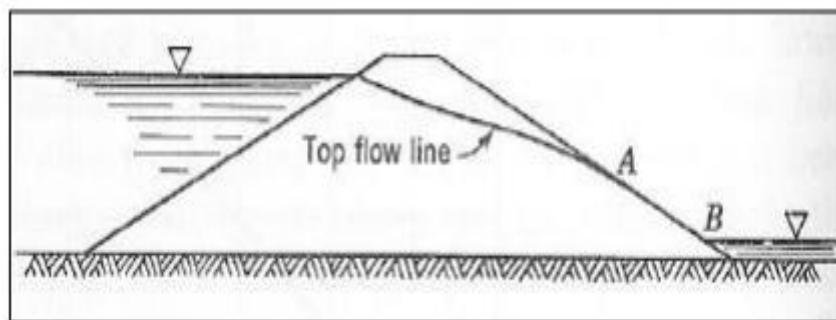
Gerando buracos ou entubamentos que possibilita desmoronar a barragens e as fundações

A percolação é causadora de 66% de acidentes em geotécnica das barragens. Sendo assim, as obras precisam analisar suas seguranças com a intenção de não ocorrer o entupimento e esses cuidados são tarefas da geotécnicas de barragens. A geotécnica precisa estudar a percolação em três fatos, para Sandroni (2012) nos aterros, nas fundações e em interfaces.

#### 4.4.2 Percolação: Aterros

A percolação em aterros é o controle feito por um sistema que drena toda a água e sem ele pode ocorrer as erosões nos taludes de jusante, ocasionando na elevação de pressão das barragens.

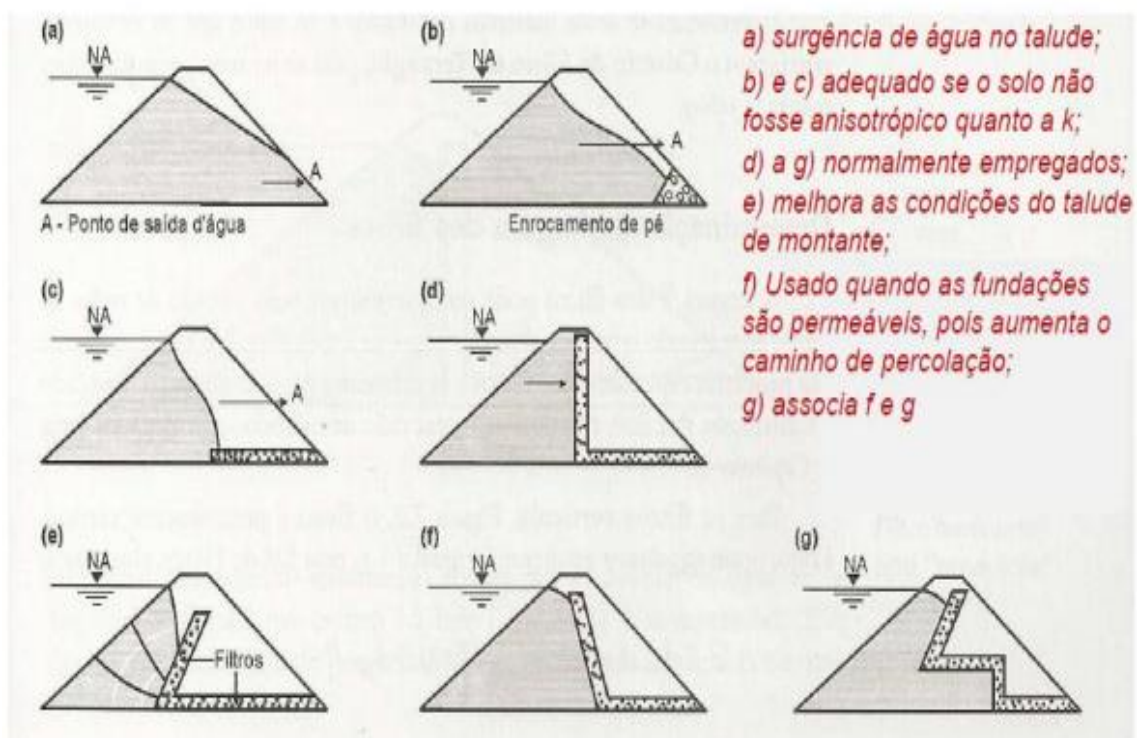
Figura 18



**Barragem e o sistema de drenagem - MASSAD (2003)**

Esse sistema consiste em drenos verticais e horizontais, nas palavras de Souza (2013) os drenos verticais interrompem o fluxo de água que passa pela barragem, os horizontais interrompem o fluxo que passa na fundação e conduz para a talude de jusante.

Figura 19



**Exemplos de dreno para drenar - MASSAD (2003)**

#### 4.4.3 Percolação: Fundação

Os acontecimentos do entubamentos (piping) nas fundações, essa percolação procede no tratamento das fundações, esse tratamento tem como função de reduzir vazamentos e pressões, assim, reduzindo a transmissão das fundações e aumentando a percolação pela fundação.

No entanto, na Tabela 3 será mostrada as aplicações de quando o vazamento é igual nas fundações.

Tabela 3

Vazão (l/min/m)	Classificação
menor que 5	vazão pequena (aceitável)
de 5 a 15	vazão média
maior que 5	vazão alta (excessiva)

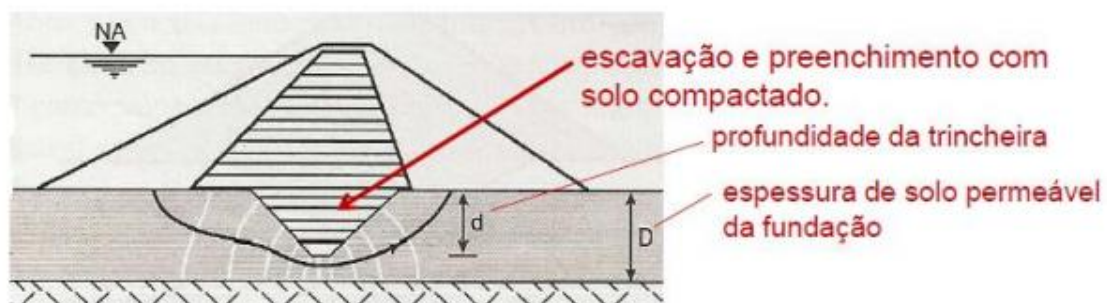
#### Vazamentos aceitos nas fundações - SANDRONI (2012)

A dois tratamentos de fundação, conforme Souza (2013), são em solo e em rocha. No entanto, as fundações em solo temos os seguintes tratamentos mais utilizados:

1. Trincheira de vedação ou “cut-off”

A trincheira de vedação ou “cut-off” é a escavação do terreno de fundação e substituindo por material argiloso, assim, aumenta a percolação da fundação.

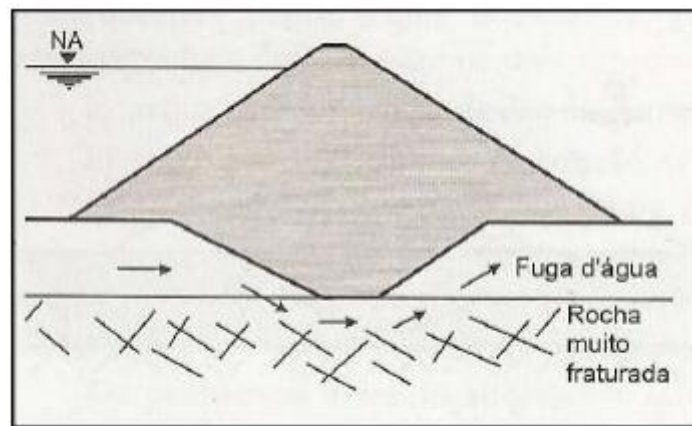
Figura 20



#### Barragem de “cut-off”- MASSAD (2003) apud MENDONÇA (2012)

Esse tratamento utiliza o rebaixamento do lençol freático, ou seja, assegurando os taludes de escavação, obtendo um custo alto. E, Souza (2013) recomenda não utilizar a trincheira de vedação, pois, para baixo do solo de fundação tiver um buraco ou rachado no maciço rochoso, ocorre o vazamento d'água.

Figura 21



### Barragem de “cut-off” e fuga de água- MASSAD (2003) apud MENDONÇA (2012)

As geométricas recomendadas por Souza (2013) para a construção da barragem de cut-off:

Largura:  $0,25 \times H$  (carga hidráulica) e tendo 4m a 20m;

A posição: centro ou pouco a montante do eixo;

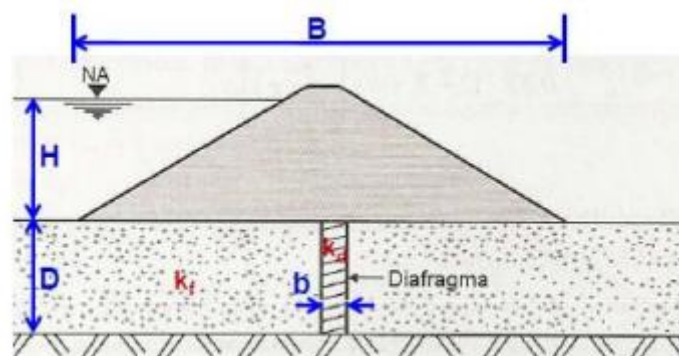
A compactação do solo: alto grau de compactação;

Colocar camada de filtração: dentro o “cut-off” e o material utilizado na fundação.

2 Diafragma: plástico e rígido

O diafragma plástico e diafragma rígido é um tratamento utilizado em fundações de areais, arenoso, *siltoso* e argiloso.

Figura 22

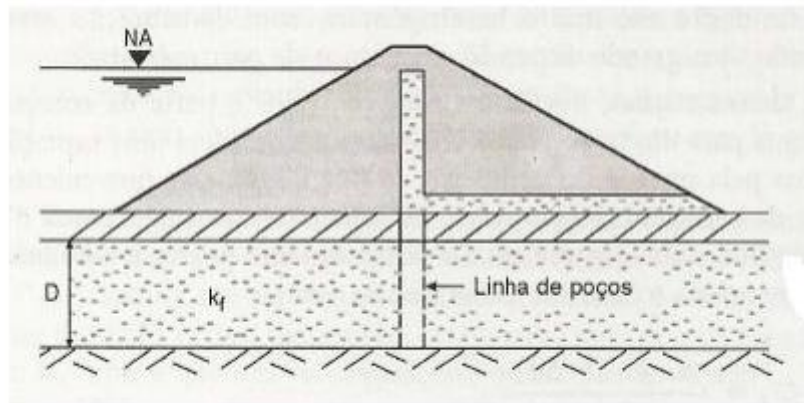


### Parede diafragma MASSAD (2003) apud MENDONÇA (2012)

3 Poços de alívio

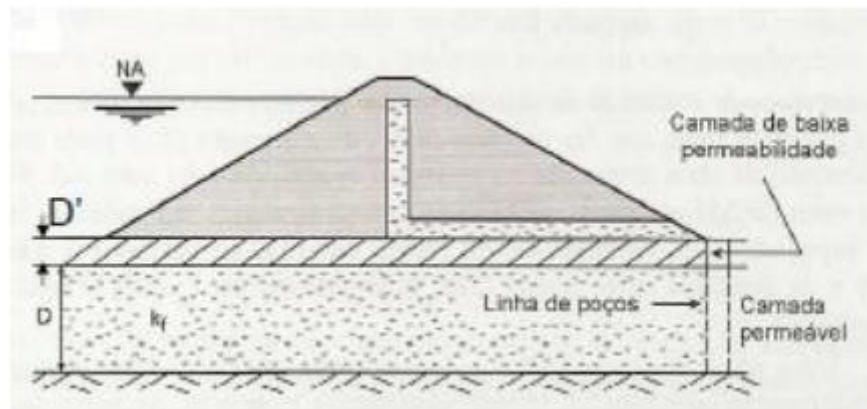
Esse outro tratamento é para interromper o fluxo de água da fundação, conforme Souza (2013) os poços são drenos verticais, assim, a água chega até a superfície sem perdas de volume e utilizada quando há sub pressão na fundação.

Figura 23



**Poço de alívio construído primeiramente, logo após o aterro MASSAD (2003)**

Figura 24

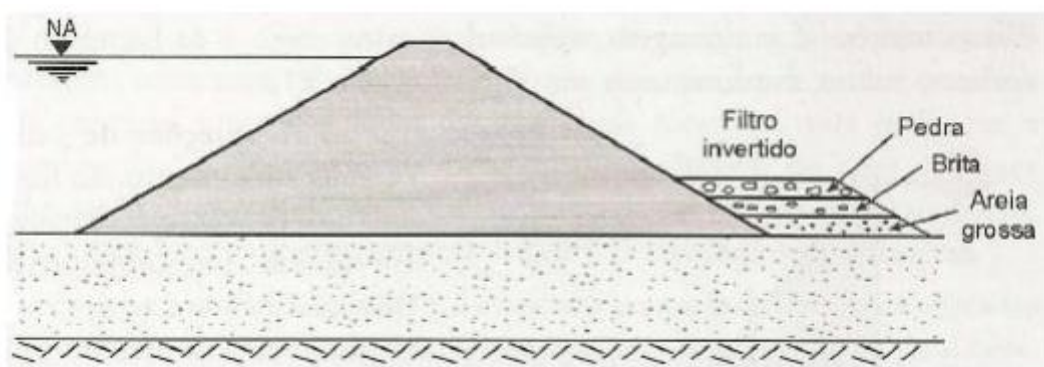


**Poço de alívio construído logo depois que a barragem já estava sendo operada  
MASSAD (2003)**

#### 4 Filtros invertidos

Os filtros invertidos funcionam para conter a areia sem resistência (movediça), esses filtros são colocados no talude de jusante.

Figura 25

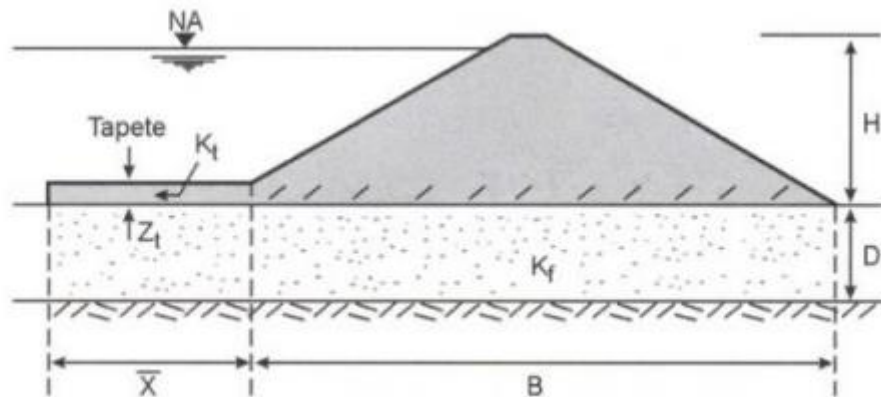


**Filtros invertidos - MASSAD (2003)**

### 5 Tapete “impermeável” de montante

Este tratamento é para permeabilidade a fundação, constituído por solo argiloso, tem uma proteção do enrocamento, reduzindo falhas no solo e os riscos de falta de eficiência do tapete que podem ocorrer através de rachaduras na construção.

Figura 26



**Demonstração do Tapete - BOSCOV (2019)**

### 6 Consolidação superficial

Este tratamento tem o intuito de cobrir falhas na rocha e aprimorar a estrutura. A consolidação superficial injeta cimento entre a barragem e a fundação fortalecendo a estrutura.

### 7 Cortinas de injeções de calda de cimento em profundidade

As cortinas de injeções de calda de cimento em profundidade têm o intuito de diminuir a percolação, através da preenchimentos da ruptura, é estabelecido esse enchimento conforme o projeto de barragem. Para esse preenchimento, Sandroni (2012) sugere que se tenha um espaçamento: inicial de 12 ou 6 metros e final até 3 metros dependendo da perda e gasto de água.

Tabela 4

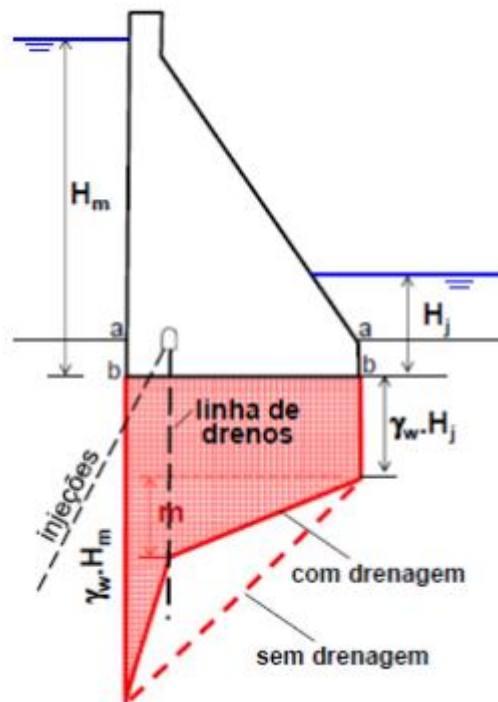
Altura da barragem (m)	Profundidade da cortina (m)
8 a 25	12
30 a 66	25
60 a 120	45
Maior que 150	60

**Tamanho da barragem e profundidade da cortina - SANDRONI (2012)**

## 8 Linha de drenos

A linha de drenos tem a finalidade de diminuir a sub pressão da base de uma barragem.

Figura 27



**Linhas de drenos- MENDONÇA (2012)**

A linha de drenos serve para averiguar drenos adicionais com os existentes, além de que os drenos apontam sub pressões e elevar o nível dos drenos.

### 4.4.4 Percolação: Interfaces

Finalizando o tópico de geotécnica na barragem de terra, a percolação das interfaces de uma barragem precisar tem certos cuidados, segundo Souza (2013), como: aterro de fundações, muro e galeria.

Essas três interfaces são explicadas de acordo com o mesmo autor, como:

Interface aterro-fundações: para apoiar as barragens nos solos precisa remover a camada superficial orgânica, assim, afogar e compactar novamente o terreno

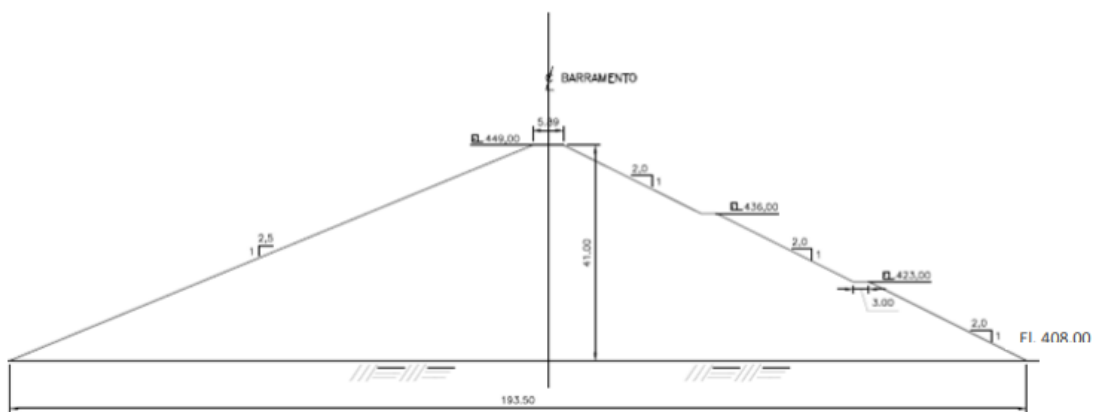
Interface aterro-muro: essa interface apresenta uma saliência retirada do muro e introduz no aterro.

Interface aterro-galeria: precisa de condições importantes como: a galeria necessita de contorno adoçado, os materiais utilizados precisam de contribuição para que a galeria não tenha contrastes de recalques, enquanto a drenagem interna do aterro cobre a galeria, utilizando-se o solo úmido.

### 4.5 ESTUDO ALTERNATIVO: BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA

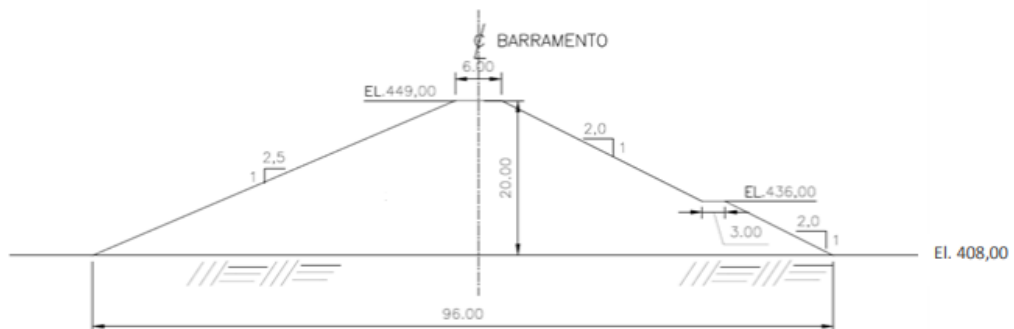
O estudo da barragem de terra homogênea, Souza (2013) demonstra que chegou-se as seguintes seções tipo: BB (Figura 28), com altura total de 41m e AA (Figura 20), com altura de 20m, taludes de montante com declividade de 2,5(H):1(V) e taludes de jusante com declividade de 2,0(H):1(V). Os taludes de jusante apresentam duas banquetetas de 3m de largura.

Figura 28



Seção: BB - Souza (2013)

Figura 29



Seção: AA Souza (2013)

Tabela 5

Opção 2 - Barragem de Terra Homogênea					
Seção Tipo	Material	Área(m <sup>2</sup> )	Trecho	Extensão total (m)	Volume(m <sup>3</sup> )
AA	Solo compactado	1011,00	I e III	152,63	154308,93
BB	Solo compactado	4094,83	II	91,23	373571,34

#### Volumes parcial - Souza (2013)

Tabela 6

Volume total (m <sup>3</sup> )	
Solo compactado	527880,27

#### Volume total - Souza (2013)

### 4.6 BARRAGEM DE TERRA: FUNDAÇÃO E ROCHA

Quando não há ameaça de deslizar superfície de rocha, a barragem de terra tem uma construção mais barata do que uma barragem em alvenaria ou açude.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2011) a rocha sobre a qual será construído o aterro terá de ser sólida em todo o seu comprimento e ser de largura suficiente para fornecer uma boa base para a parede.

Para a construção de uma barragem de melhor qualidade, a largura da rocha tem de ser maior que a largura da base, assim, tendo prevenção contra infiltrações.

### 4.7 BARRAGEM DE TERRA: MATERIAIS DE BAIXA QUALIDADE

Os matérias de baixa qualidade utilizado para a construção da barragem de terra, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2011) são: material de formigueiro, verti solos (cracking clays) ou argila expandida.

O material de formigueiro, como última opção para ser utilizada no tratamento antes e durante o aterro. O Verti solos (cracking clays) ou argila expandida, misturando-as com solo grosseiro, pois, com a argila possibilita modificar a massa transformando-a em plástica e impermeável.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2011) adverte que o material utilizado, não pode deixar o aterro secar ou encher, mantendo-o mais cheio possível.

## **4.8 CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM**

### **4.8.1 Marcação do Local de Construção**

A marcação do local precisa ser estabelecida o mais cedo possível para a iniciação da construção da barragem, assim, não há desperdícios de limpeza de solo em áreas não necessárias.

A marcação do local de construção é estabelecido por estacas e no caso de perde-las, “o eixo da barragem deverá ser de novo estabelecido com estacas de referência adicionais e em número substancial, instaladas nas extremidades do eixo, a uma boa distância de onde ocorrerá a construção” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011).

As estacas serão instaladas no aterro e por variação de levantamento, na variação de levantamento é uma estaca estabelecida por GPS ao lado oposto do aterro.

### **4.8.2 Ativos fixos tangíveis**

Os ativos fixos tangíveis são estabelecidos após a decisão do tipo de barragem a ser construída, pois, facilita na decisão de quais ativos fixos tangíveis utilizar, são eles:

Bulldozers não são geralmente recomendados pois dificultam conseguir os níveis de compactação e de estratificação essenciais em qualquer barragem de terra. Barragens muito pequenas construídas com material impermeável, até a uma altura de 2 m, podem ser construídas com sucesso por bulldozers (exigindo uma margem de assentamento até 20 por cento).

Maquinaria pesada de remoção de terras – tais como scraper auto carregável e scraper conjugado não são necessários para pequenas barragens a não ser que o tempo seja um fator importante, estejam envolvidas pequenas distâncias e os preços de construção sejam particularmente económicos. Para a maioria das barragens agrícolas, a construção por trator de rodas ou pá carregadora de lagartas será suficiente e, onde ativos fixos tangíveis e combustível não estejam disponíveis, poderá ser usada uma pá com tração animal para a construção do aterro. Esta última é muito adequada para pequenas barragens e, apesar de contribuírem para um progresso relativamente lento, os custos são minimizados e é obtido um excelente grau de compactação com o movimento do gado através do núcleo e do aterro (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011).

### 4.8.3 Equipamentos e Técnicas de Compactação

As técnicas de compactação é um solo compactado proporciona estabilidade no aterro, através disso possibilita uma melhor escolar dos equipamentos e matérias a serem utilizados. Para a compactação do aterra, precisa-se entender as características do solo, são eles:

Se o solo está demasiado molhado, o material torna-se demasiado mole e as tensões de cisalhamento impostas sobre o solo durante compactação são superiores à resistência do solo ao cisalhamento, de modo que a energia de compactação é largamente dissipada no cisalhamento sem apreciável aumento de densidade.

Se o solo está demasiado seco, o material compactado nestas condições terá uma maior percentagem de bolsas de ar do que um solo comparável compactado molhado. Absorverá humidade mais facilmente e tornar-se-á mais próximo da saturação com a subsequente perda de força e impermeabilidade.

Um solo húmido, apropriadamente estratificado e compactado com um mínimo de bolsas de ar também reduz a tendência para o assentamento sob carga constante e repetida (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011).

Após isso, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2011) indica como deverá ser o solo para a compactação:

- O solo para ser compactado deve estar húmido, mas não demasiado molhado e deverá ser estratificado ao longo de todo o comprimento do aterro em espessuras apropriadas ao equipamento utilizado. Maquinaria agrícola (e.g. Pneus de tratores cheios com água seguindo um trajeto irregular ou pequenos rolos) e métodos manuais são normalmente suficientes para compactar com êxito camadas de apenas 75-100 mm de espessura. Equipamento pesado como rolos pé-de-carneiro (ideais para solos argilosos), e cilindros (rolos) vibradores e compactadores (ideais para terrenos arenosos) podem trabalhar com camadas até 200 mm de espessura e obviamente são preferíveis quando é necessário compactar grandes quantidades e larguras.
- Quando o teor de humidade do solo for baixo, a rega da área de empréstimo tem como resultado uma mais uniforme distribuição da água no solo a ser compactado. É também mais económico do que adicionar água à superfície de construção e, com frequência, ajuda o trabalho das escavadoras. Poupa-se tempo no aterro evitando ter que molhar a superfície entre camadas. Um planeamento cuidadoso com ripagem e lavoura da área de empréstimo antes de regar e deixando a água infiltrar-se durante um ou mais dias (dependendo do clima, tipo de solo e quantidade de água utilizada) antes da escavação, permitirá um teor de humidade uniforme nos materiais de aterro.
- Adote sempre técnicas de compactação que reduzam a espessura bruta de qualquer camada em pelo menos 25 por cento.

### 4.8.4 Limpeza e preparação do local

#### 4.8.4.1 A base da barragem

“Todas as árvores e raízes, erva (capim) e solo superficial têm que ser removidos” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011). A remoção é realizada por uma pá de nivelamento e arrasto,

pois, precisa remover 100mm de terra para estabelecer uma boa superfície do solo, a terra removida será utilizada em outros aterros.

#### **4.8.4.2 Áreas de empréstimo**

As áreas de empréstimo são demarcações de utilidade para o início da construção de barragens, “análises de amostras do solo feitas por um laboratório local” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011).

#### **4.8.5 ASSENTAMENTO**

A barragem assenta sobre a areia, esse assentamento precisa ser verificado por alguns meses para assegurar se não a ocorrência de assentamentos deformável. E para consertar essa falha precisa-se de “medidas de remediação (enchimento com solo superficial e erva (capim) normalmente é suficiente) para restaurar o coroamento ou crista/soleira ao seu nível de projeto” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011).

#### **4.8.6 DESCARREGADOR/VERTEDOR**

Descarregadores/vertedores são recomendáveis para a barragem de terra, evitando transbordamentos, pois, ao fazer uma escavação em uma certa medida não removendo ao todo o solo superficial, assim, não ocorre erosão.

Caso ocorra um erro na medida da escavação, precisa-se escavar profundamente o solo, sendo assim, “a profundidade adicional necessária porque solo de boa qualidade e cobertura com erva (capim) terão de ser instalados logo que obtenha o perfil desejado” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011).

#### **4.8.7 CONSTRUÇÃO DO ATERRO**

##### **4.8.7.1 O núcleo/trincheira de vedação**

O núcleo/trincheira de vedação é importante para a construção do aterro, é recomendável os cuidados na hora de escavar aterro e na utilização dos materiais no solo.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2011), explica

que:

A largura e a profundidade deverão ter sido decididas na fase de projeto. A largura (2 m mínimo) dependerá frequentemente do equipamento utilizado na escavação e também do tamanho da barragem.

A profundidade depende das situações do local escolhido, as escavações da trincheira de vedação necessitam de materiais como argila ou rocha para o aterro, a rocha precisa ser preenchida com argila e possíveis de localizar depois para a verificação de infiltração.

Se uma camada impermeável suficientemente espessa não for alcançada e a profundidade da trincheira tiver de ser  $0,75H$ , a escavação da trincheira de vedação apenas pode parar se o material encontrado não for de natureza grosseira ou gravilha (como é frequente em leitos fluviais) (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2011).

A escavação precisa seguir as condições acima para a construção do aterro, adiantar as coisas podem ocorrer infiltrações, se precaver transforma a construção do aterro em maior qualidade.

#### **4.8.7.2 Aterro**

Por fim nessa subsecção, após a trincheira de vedação realizar seus procedimentos, pode-se começar a construção do aterro, diante da durabilidade de tempo de obra, há a possibilidade de realizar a trincheira de vedação antes da construção da barragem, mas analisando e garantindo a segurança contra erosão.

O aterro segue monitoramento de riscos e perigos para a análise dos tipos de solos que serão utilizados, o trator ou pá utilizada para o arrasto do solo precisa manter um nivelamento, se não será necessário um novo nivelamento de pás

## **5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES**

---

Pode-se concluir que as barragens de terra apresentam grande vantagem quando comparadas a outros tipos de barragens. Isso se deve a facilidade de construção sem precisar de fundação específica.

No entanto, deve-se ter um controle rigoroso quanto a segurança, se atendo principalmente as características, comportamento e propriedades do material do subsolo, onde serão construídas.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

---

AGENCIA BRASIL. **Brasil e Paraguai cancelam ata sobre compra de energia de Itaipu.** 2019. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2019-08/brasil-e-paraguai-cancelam-ata-sobre-compra-de-energia-de-itaipu>> Acesso em: 08 outubro 2019.

**BOSCOV**, Maria Eugenia Gimenez. **Aplicação dos conceitos de percolação.** 2019. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=959013>> Acesso em: 08 outubro 2019.

CRUZ, P.T. da, 2004, **100 Barragens Brasileiras. Casos Históricos, Materiais de Construção e Projetos.** Oficina de Textos, 2ª Edição, São Paulo. In: SOUZA, M.M. *Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC.* Abril de 2013.

CBDB, COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS, 2011, **A História das Barragens no Brasil nos Séculos XIX, XX e XXI.** 50 Anos do Comitê Brasileiro de Barragens. Sindicato nacional dos editores de livros, Rio de Janeiro. In: SOUZA, M.M. *Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC.* Abril de 2013

MARQUES FILHO, P.L. e GERALDO, A., 1998, **Barragens e Reservatórios. Geologia de Engenharia.** Editores Antonio M. S. Oliveira e Sergio N. A. Brito, ABGE/ Fapesp, São Paulo. In: SOUZA, M.M. *Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC.* Abril de 2013.

MASSAD, F., 2003, **Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia.** São Paulo, editora Oficina de Textos. In: SOUZA, M.M. *Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC.* Abril de 2013.

MENDONÇA, M. B. de, 2012, **Notas de aula da disciplina Obras de Terra.** UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro. In: SOUZA, M.M. *Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC.* Abril de 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Manual sobre pequenas barragens de terra Guia para a localização, projecto e construção,** 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ba0081p/ba0081p.pdf>> Acesso em: 08 outubro 2019.

POSSAN, Edna. **Modulo 1 – Barragens: Aspectos legais, técnicos e socioambientais.** UNIDADE 10: BARRAGENS DE CONCRETO Disponível em: <[https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/4/Unidade\\_10-modulo1.pdf](https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/4/Unidade_10-modulo1.pdf)> Acesso em: 08 outubro 2019.

SANDRONI, S., 2012, **Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento.** Curso de Mestrado da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. In: SOUZA, M.M. *Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC.* Abril de 2013.

SAYAO, A., 2009, **Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento**. Curso de Mestrado da PUC -RJ, Rio de Janeiro. In: SOUZA, M.M. *Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC*. Abril de 2013

SOUZA, M.M. **Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC**. Abril de 2013. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006346.pdf>> Acesso em: 08 outubro 2019.

TEIXEIRA, Silvana. **Como construir pequenas barragens de terra**, 2016. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-irrigacao-agricultura/artigos/como-construir-pequenas-barragens-de-terra>> Acesso em: 08 outubro 2019.