

N. CLASS. 627.8
CUTTER C 8370
ANO/EDIÇÃO 2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS- MG

ENGENHARIA CIVIL

DIEGO CREPALDI COSTA

**PROPOSTA PARA ADEQUAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA NO
MUNICÍPIO DE ILICINEA-MG**

Varginha - MG

2015

DIEGO CREPALDI COSTA

**PROPOSTA PARA ADEQUAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA NO
MUNICÍPIO DE ILICINEA-MG**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil
Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS MG
como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel
sob a orientação do Prof. Dr. Leopoldo Uberto Ribeiro
Júnior.

**Varginha
2015**

DIEGO CREPALDI COSTA

**PROPOSTA PARA ADEQUAÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA NO
MUNICÍPIO DE ILICINEA-MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em ___ / ___ / ___

Prof. Doutor Leopoldo Uberto Ribeiro Júnior

Prof. Dr. Guaracy Silva

Prof. Ms. Roberto Luiz Queiroz

OBS.:

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, pelo amor incondicional e incentivo, à Universidade, pela oportunidade de fazer este curso, ao orientador, pela paciência e pelo suporte. Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta jornada, o meu MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Este trabalho aborda um estudo de caso de rompimento de barragem de terra em propriedade rural na cidade de Ilícinea – MG. Levantaram-se, por meio de pesquisas e de referencial bibliográfico, métodos, técnicas e parâmetros utilizados para dimensionar uma pequena barragem de terra. Com isso, confrontou-se, com o estudo de caso abordado, os motivos pelos quais ocorreu o rompimento da barragem. Após realizado o estudo, concluiu-se que os proprietários de terra, sem conhecimento sobre o assunto, pensam que a construção de uma pequena barragem de terra é algo simples, por isso muitas vezes realizam esta obra sem auxílio de um profissional e sem qualquer tipo de conhecimento sobre as técnicas, sobre os parâmetros e sobre os métodos que são essenciais para a construção, resultando em construções instáveis, inseguras e na maioria das vezes se rompendo antes até de atingir o seu objetivo.

Palavras-chave: Barragem de terra . Propriedade rural. Rompimento.

ABSTRACT

This work presents a case study of earth dam breaking in rural property in the city of Illicínea - MG. He rose through research and bibliographic reference methods, techniques and parameters used to scale a small earth dam. Thus confronted with the discussed case study, showing reasons why the dam break occurred. After conducted the study, we concluded that the landowners without knowledge about it, think that building a small earth dam is something simple, so I often perform this work without the help of a professional and without any knowledge about the techniques, methods and parameters which are essential to the construction. Resulting in unstable, unsafe buildings and most of the time before breaking up to reach your goal.

Keywords: Disruption. Earth dam. Rural property.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipo de Barragem - Barragem do tipo homogênea.....	21
Figura 2 - Tipo de Barragem – Barragem do tipo heterogênea.....	21
Figura 3- Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da medição de velocidade do curso d'água pelo método flutuador, delimitando secção do canal a ser medido (10 metros).....	23
Figura 4 - Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da medição de velocidade do curso d'água pelo método flutuador, lançamento do flutuador cinco metros antes da seção do canal a ser medido.....	23
Figura 5 - Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da medição de velocidade do curso d'água pelo método flutuador, marcando o tempo que o flutuar leva para deslocar entre duas cordas.....	24
Figura 6 - Medição de vazão curso d'água – Representação das fórmulas pelas quais se obtêm a média dos tempos e a velocidade do curso d'água em questão.....	24
Figura 7 - Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, substituída a corda pela trena.....	25
Figura 8 - Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, marcação na trena.....	25
Figura 9 – Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, colocando régua graduada nas demarcações impostas na trena.....	25
Figura 10– Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, obtendo a leitura na superfície do espelho d'água do curso d'água.....	26
Figura 11– Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, obtendo a profundidade do curso d'água.....	26
Figura 12– Medição de vazão curso d'água – Representação das fórmulas pelas quais se obtêm soma das leituras e a média da área da secção em estudo do curso d'água em questão.....	27
Figura 13– Medição de vazão curso d'água – Representação das fórmulas pelas quais se obtêm a média da área das secções e vazão média do curso d'água.....	27

Figura 14 - Dimensionamento barragem – Representação esquemática da linha de inundação da barragem.	28
Figura 15– Dimensionamento barragem – Representação esquemática das curvas de nível em um local onde existirá uma barragem.	29
Figura 16– Dimensionamento barragem – Representação esquemática evaporação de água da Barragem.....	30
Figura 17– Vista superior do maciço de terra, espelho d’água e canal extravasor.....	31
Figura 18 – Representação esquemática dos elementos básicos de uma pequena barragem de terra.	31
Figura 19 – Vista de perfil da bacia hidráulica, do desarenador e respectiva tubulação vertical e do extravasor.....	31
Figura 20– Vista de perfil maciço da barragem.....	32
Figura 21 – Vista de perfil maciço da barragem, Base da Barragem.	33
Figura 22– Vista da Cristal da barragem, utilizando-a como estrada de tráfego.....	34
Figura 23– Vista da Cristal da barragem, não a utilizando como estrada de tráfego.	34
Figura 24– Vista do maciço da barragem, representação esquemática dos componentes da altura da barragem	35
Figura 25– Vista do maciço da barragem, representação esquemática dos esforços provocados pela água sobre a barragem.....	36
Figura 26– Vista do maciço da barragem, ilustração da influência da inclinação do talude na estabilidade da barragem.	36
Figura 27– Vista do maciço da barragem, ilustração da inclinação dos taludes para barragem de até 5 metros.	37
Figura 28– Vista do maciço da barragem, ilustração da inclinação dos taludes para barragem de 5 à 7,5 metros.	38
Figura 29– Vista do maciço da barragem, ilustração da inclinação dos taludes para barragem de 7,5 a 10 metros.	38
Figura 30– Vista do maciço da barragem, ilustração da linha de saturação caindo fora do maciço.....	39
Figura 31– Vista do maciço da barragem, ilustração da linha de saturação caindo dentro do maciço.....	40
Figura 32 – Ilustração Solos como afloramento de rochas.....	41
Figura 33–Ilustração Solos secos, firmes e profundos.	41
Figura 34 – Ilustração Solos arenosos ou argilosos superficialmente.	42

Figura 35– Ilustração Solos úmidos ou parcialmente alagados.....	42
Figura 36–Vista do maciço da barragem, representação esquemática de infiltração de água sobre o maciço.	43
Figura 37–Vista do maciço da barragem , representação esquemática de infiltração de água sobre o maciço até o núcleo impermeável.....	43
Figura 38 –Vista do maciço da barragem, representação esquemática do núcleo e suas dimensões em função da altura do maciço.	44
Figura 39 – Representação esquemática das escavações próximo ao núcleo do maciço.	44
Figura 40 – Representação esquemática, cravação da barra de aço, procurando atingir a camada impermeável do solo.....	45
Figura 41–Vista do maciço da barragem, representação esquemática do núcleo e sua profundidade de até três metros, atingindo a camada impermeável do solo.	45
Figura 42–Vista do maciço da barragem, representação esquemática do núcleo e sua profundidade não atingindo a camada impermeável do solo.....	46
Figura 43– Vista do desarenador com registro.....	46
Figura 44 – Material para desarenador, tubo corrugado com juntas sobre pressão com anéis flexíveis.....	47
Figura 45– Material para desarenador, tubo corrugado com juntas sobre pressão com anéis flexíveis.....	47
Figura 46– Material para desarenador, comporta com volante de acionamento.	48
Figura 47– Tomada d´água – Instalação da tubulação parte superior da barragem.	50
Figura 48 – Extravasor – Extravasor de água sobre a barragem.	51
Figura 49– Extravasor – Representação esquemática.	52
Figura 50– Área de contribuição – Representação esquemática.	53
Figura 51– Extravasor – Representação esquemática da altura da parede do extravasor em função da altura da barragem.....	55
Figura 52– Escolha do local –Representação esquemática da garganta, ombreiras, área espraiada.	58
Figura53 - Curva de Compactação	61
Figura 54 - Curva de Compactação para diferentes solos	62
Figura 55 - Curva de Compactação para Energias do Proctor Normal, intermediário e Modificado.....	64
Figura 56 - Curva Granulométrica.....	65
Figura 57 - Ensaio de Laboratório de Limite de Plasticidade	66

Figura 58 - Ensaio de Laboratório de Limite de Liqueidez (Aparelho Casa Grande)	67
Figura 59 - Rolo Compactador Liso	68
Figura 60 - Rolo Compactador Pneus.....	69
Figura 61- Rolo Compactador Pé de Carneiro	69
Figura 62 -Frasco de Areia	71
Figura 63 – Barragem de terra rompida na propriedade rural	72
Figura 64 – Vista superior da barragem de terra rompida	72
Figura 65 – Vista superior da barragem de terra com estimativa do espelho d'água.....	74
Figura 66 – Croqui da vista longitudinal da barragem de terra rompida.....	75
Figura 67 – Croqui da vista em perfil da barragem de terra rompida.....	75
Figura 68 – Dados hidrográficos do curso d'água em estudo	76
Figura 69 - Planilha Sistemas de Custos – Limpeza de camada vegetal	78
Figura 70 - Planilha Sistemas de Custos – Escavação, Transporte 200 a 400m material 1º categoria.....	78
Figura 71- Planilha Sistemas de Custos – Escavação solo mole, Transporte 200 a 400m.....	78
Figura 72 -Planilha Sistemas de Custos – Compactação de aterros a 95% Proctor Normal..	79
Figura73 – Planialtimétrico com Curvas de nível do local.....	80
Figura 74 - Croqui Barragem de Terra a ser construída, vista de perfil	85
Figura 75 - Croqui Barragem de Terra a ser construída, vista longitudinal	85
Figura 76 - Croqui do Extravasar, Vista de seção Transversal	87
Figura 77 - Croqui do Extravasar, Vista seção Longitudinal	87
Figura 78 - Limpeza da camada vegetal do local de construção da barragem	90
Figura 79 - Aterro de suporte sobre solo mole	91
Figura 80 -Aterro de suporte sobre solo mole e estaqueamento da barragem de terra.....	91
Figura 81 - Escavação da Fundação do Núcleo Impermeável.....	92
Figura 82 - Construção do aterro do núcleo impermeável	93
Figura 83 - Construção do aterro da barragem de terra.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Inclinações de Taludes em função da altura da barragem	37
Tabela 2 - Valores dos Coeficientes C adimensional da fórmula de Hazen-Willinas.....	49
Tabela 3– Valores do coeficiente de rugosidade “n” de Manning	56
Tabela 4– Inclinação dos taludes de acordo com a estabilidade de canais.....	57
Tabela 5– Velocidades limites em função do material das paredes do canal	57
Tabela 6 - Energia de compactação Proctor	63
Tabela 7 -Dados referente ao reservatório de FURNAS	74
Tabela 8 – Dados para cálculo do canal extravasor.....	77
Tabela 9 – Dados de leituras e cálculo da área média do curso d’água em estudo	82
Tabela 10 – Dados das curvas de níveis do espelho d’água da represa e cálculo do volume represado.....	83
Tabela 11 - Controle de Umidade - Método da Frigideira	94
Tabela 12 - Controle de Compactação - Método do Frasco Funil de Areia.....	95
Tabela 13 - Construção de Barragem de Terra -Propriedade Rural de Illicínea-MG.....	96
Tabela 14 -Cronograma Físico-Financeiro da obra	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVO GERAL	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Aspectos Legais	18
3.1.1 Outorga	19
3.2 Tipos de Barragens de Terra	20
3.2.1 Barragem Simples.....	20
3.2.2 Barragens com núcleo ou diafragma	21
3.3 Medição de Vazão do curso d'Água.....	22
3.3.1 Método do Flutuador	22
3.3.2 Volume de Água Represada na barragem	28
3.4 Elementos de uma barragem de terra	30
3.4.1 Maciço de terra	32
3.4.2 Núcleo impermeável.....	40
3.4.2.1 Desarenador	46
3.4.2.2 Tomada d'água	49
3.4.2.3 Extravasador de água.....	51
3.4.2.4 Escolhas do local para construção da barragem	58
3.4.2.5 Controles tecnológicos para a construção do aterro da barragem.	59
3.4.2.5.1 Aspectos Gerais	59
3.4.2.5.2 Empolamento e Contração do Solo	60
3.4.2.5.3 Ensaio de avaliação do solo realizados em laboratório.....	60
3.4.2.5.2.1 Ensaio de Compactação (Proctor)	63
3.4.2.5.2.2 Ensaio de Granulometria:	64
3.4.2.5.2.3 Ensaio de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP):.:	66
3.4.2.5.2.4 Compactações no Campo	67
3.4.2.5.2.4.1 Equipamentos de compactação.....	68
3.4.2.5.2.4.2 Controle de Compactação.....	70
3.4.2.5.2.4.3 Grau de Compactação.....	71

4 MATERIAL	72
4.1 Aspectos legais.....	73
4.2 Medição de vazão do curso d'água	73
4.3 Volume de Água Represada da Barragem	74
4.4 Escolha do local para Construção	74
4.5 Tipo, Forma e Dimensões do maciço de terra existente:.....	74
4.6 Material da Construção do Aterro da Barragem	75
4.7 Extravasar D'água.....	76
4.8 Orçamento para construção da Barragem.....	77
4.9 Métodos.....	79
4.9.1 Medição de vazão do curso d'água.....	79
4.9.2 Volume de Água Represada da Barragem.....	80
4.9.3 Maciço de terra da barragem	80
4.9.4 Extravasar	81
4.9.5 Construção da nova Barragem de Terra	81
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
5.1 Medição de vazão do curso d'água	82
5.2 Volume de água represada da barragem.....	83
5.3 Maciço de terra da barragem	83
5.4 Construção da nova Barragem de Terra.....	88
6 CONCLUSÃO	99
REFERÊNCIAS	100

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de grande importância para a humanidade, pois seu uso é indispensável em qualquer atividade. Para uma propriedade rural, é o bem mais importante, pois inúmeros são os benefícios possíveis de serem obtidos com a sua utilização. A fazenda que possui uma boa qualidade de água e em quantidade suficiente, poderá praticar a irrigação visando ao aumento da produção da cultura lá desempenhada, inclusive na entressafra, para desenvolver piscicultura, intensificar a produção de leite, de carne e até mesmo gerar sua própria energia elétrica. Muitas vezes todos estes processos estão diretamente ligados à construção de uma barragem.

A construção de uma barragem de terra poderá ser feita visando diversas situações:

- Permitir o abastecimento uniforme de água para comunidades;
- Armazenar água para ser utilizada em irrigações;
- Elevar o nível de um curso d'água para possibilitar o abastecimento, por gravidade, sistemas de irrigação, pisciculturas, criatórios de animais, entre outros.

Apesar de existir uma abundante quantidade de água na Terra, ao longo dos anos, esta sofre intensas agressões, como contaminações de mananciais e uso abusivo; em consequência, a disponibilidade de água potável vem diminuindo gradativamente. Tendo em vista que a maioria das bacias de cabeceira, onde nascem os rios, encontra-se em propriedades rurais, a preservação da água deve se iniciar pelo meio rural. Dessa forma, deve-se ter preocupação e cautela ao se planejar as formas de utilização.

De acordo com o Manual de barragens de terra FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, 2011), a atual legislação referente à preservação dos recursos ambientais reconhece que os cursos d'água, mesmo aqueles que se localizam em propriedades particulares, são áreas de preservação permanente, por isso a construção de uma barragem que geralmente é feita interceptando um curso d'água, não poderá ser uma decisão exclusivamente do proprietário das terras, o produtor. É preciso obter uma autorização dos órgãos competentes com base em comprovações de que a construção da barragem será conduzida de acordo com critérios técnicos adequados, eficientes e seguros, dentro das normas de prevenção do meio ambiente e com justificativa que fornecerá o desenvolvimento social da região ou interesse público.

Segundo o Manual de barragens de terra FAO (2011), sabe-se que, quando existe uma carga hidrostática sobre um terreno, ocorre o aumento da permeabilidade de água em direção

aos lençóis subterrâneos. Essa forma de abastecimento dos aquíferos subterrâneos diminui a possibilidade de vazões superficiais. O aumento dos níveis nos lençóis freáticos facilita o fornecimento de água para as plantas por meio de ascensão capilar, proporcionando também um fluxo de água subterrânea para abastecimentos dos pequenos córregos. Com os aquíferos abastecidos, esses reservatórios, formados pelas pequenas barragens, cumprem sua maior função que é a de reservar água para o momento de escassez. Esse aumento hídrico auxilia também para a transmissão um maior número de usuários e a outras diversas maneiras de consumo eficaz de água.

O produtor, proprietário da fazenda, por entender de maneira equivocada que as pequenas barragens de terra aparentam ser de fácil construção e ter custos relativamente elevados, em busca de reduzir tais custos, negligenciam muitas vezes os aspectos legais, técnicos e ambientais.

Em muitas visitas a várias propriedades, quase sempre se verifica que existe uma represa ou açude rompido, após o período chuvoso, por falta de um planejamento adequado e por falha de construção.

Assim, estaremos abordando em um estudo de caso justamente uma barragem em que foram negligenciados os parâmetros e técnicas de construção os quais ocasionaram seu rompimento.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliação e aplicação de procedimentos técnicos de construção de pequenas barragens de terra em propriedades rurais.

2.1 Objetivos Específicos

- Aspectos Legais para a construção da barragem de terra;
- Tipos de Barragens de Terra;
- Medição da Vazão do curso d'água e volume represado na barragem de terra;
- Elementos e Parâmetros de dimensionamento da barragem de terra;
- Métodos de Compactação da barragem de terra.
- Realizar a construção de uma barragem de terra segura e estável para obter água suficiente com finalidade de irrigação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos Legais

A construção de pequenas barragens de terra só poderá ser viabilizada depois de estas passarem por um processo de legalização.

A lei do Direito da Água do Brasil, denominada pelo Código das Águas (2013), decreto número 24.643, de 10 de junho de 1934, foi modificada em vários aspectos, dando lugar à Lei Federal 9.433 de 08 de janeiro de 1997, denominada Política Nacional de Recursos Hídricos.

Alguns fundamentos norteadores da lei 9.433 são:

- A água é um bem de domínio público;
- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- Em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- A bacia hidrográfica é uma unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

Alguns objetivos essenciais da lei 9.433 são:

- Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- Uso racional e integrado dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- A prevenção e a defesa contra eventos do uso inadequado dos recursos naturais.

Segundo Lopes (2008, p. 25), é importante lembrar, a partir da constituição Federal de 1988, que houve a extinção do domínio privado da água, introduzindo o estabelecimento de apenas dois domínios dos corpos d'água no Brasil:

- O domínio da União para os rios ou lagos que banhem mais de um Estado, ou que sirvam de fronteira entre esses Estados, ou de fronteira entre o território brasileiro e o de um país vizinho;

- O domínio dos Estados para as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes ou em depósitos, ressalvadas, neste caso, as decorrentes de obras realizadas pela União.

A exemplo da União, muitos Estados também já elaboraram as suas legislações estaduais dos recursos hídricos para a gestão das águas de domínio em seus territórios.

3.1.1 Outorga

“Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos foi instruída como instrumento facilitador da gestão das águas no Brasil.” (LOPES, 2008, p. 26)

A Outorga é um ato administrativo, mediante o qual o poder público outorgante, (União, Estados ou Distrito Federal) faculta ao outorgado o uso do recurso hídrico, por prazo determinado, geralmente cinco anos para caso de captação de irrigação, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato. O referido ato é publicado no Diário Oficial da União, ou nos Diários oficiais dos Estados e Distrito Federal, onde o usuário é identificado, caracterizado a localização geográfica do ponto de captação, as características técnicas e as condicionantes legais do uso das águas que ele está autorizado realizar.

A solicitação da outorga deverá ser feita junto à Agência Nacional de Águas (ANA), para caso de corpos d'água de domínio da União. No caso de corpos d'água de domínio dos Estados e do Distrito Federal, a solicitação deverá ser feita junto às entidades outorgantes das respectivas unidades federativas, no caso do Estado de Minas Gerais é o Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM).

Estão sujeitos à outorga, pelo poder público, os direitos dos seguintes usos dos recursos hídricos:

- Derivação ou captação de parcela da água existente em corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo produtivo;
- Lançamento em corpo d'água de esgotos e de demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Uso de recursos hídricos para fins de aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água.

Independem de outorga, os seguintes usos:

- O uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural;
- Em derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes;
- As acumulações de volumes de água consideradas insignificantes.

Para solicitar uma outorga, o usuário deverá preencher formulários correspondentes ao uso pretendido, anexando documentação necessária, bem como um relatório técnico que demonstre as condicionantes do pedido, como, por exemplo, um projeto de barragem. Esse documento deve ser encaminhado à entidade outorgante. Tais formulários, junto à relação de itens necessários para o pedido de outorga, podem ser encontrados na internet para maioria dos Estados, sendo para União a entidade outorgante, é ANA(<http://www2.ana.gov.br>) e, no Estado de Minas Gerais, é IGAM (<http://www.igam.mg.gov.br>)

3.2 Tipos de Barragens de Terra

As pequenas barragens de terra podem ser classificadas quanto às características do material utilizado na construção, ao método empregado na construção e à natureza de fundação da barragem. Assim, elas são classificadas em dois tipos principais:

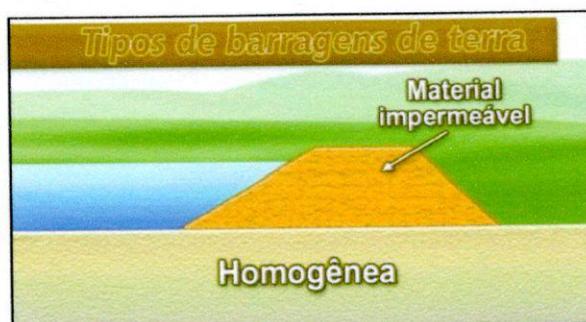
- Barragens Simples;
- Barragens com núcleo ou diafragma.

3.2.1 Barragem Simples

Segundo Lopes (2008), barragem simples são divididas em dois tipos. São elas:

Barragem de corpo Homogêneo: São aquelas em que o maciço de terra é constituído, totalmente, por um único material impermeável depois compactado. São apropriadas para locais que dispõe de boas condições para construção e para impermeabilização do corpo da barragem. Essas boas condições referem-se à existência de solo médio a argiloso em quantidade suficiente para a construção da barragem e terreno com solo argiloso, seco e profundo, possibilitando que a barragem seja apenas apoiada sobre o solo (Figura 1). (LOPES, 2008, p. 90)

Figura 1 - Tipo de Barragem - Barragem do tipo homogênea



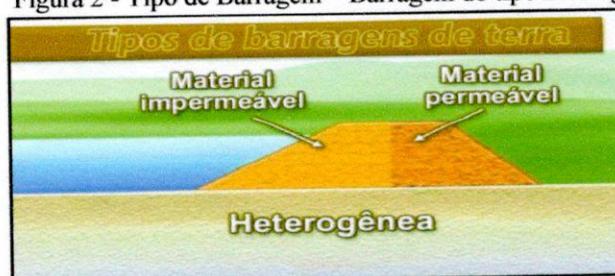
Fonte: (LOPES 2008).

Ainda de acordo com LOPES (2008) o segundo tipo é:

Barragem de Corpo Heterogêneo: são aquelas em que parte do maciço é construído com solo adequado, com solos médios a argilosos, e outra parte com material permeável. São recomendadas a serem construídas em locais que não dispõem de solos adequados ou de boa qualidade com quantidade suficiente para compor o maciço do corpo da barragem. Portanto, nessas condições, o corpo da barragem será constituído de dois materiais, um impermeável, solo médio a argiloso, e outro permeável, solo arenoso ou pedregoso; por esta razão, é chamada de barragem de corpo heterogêneo (LOPES, 2008, p. 90).

O material impermeável deverá ser utilizado na primeira metade e o permeável, à jusante da barragem (Figura 2).

Figura 2 - Tipo de Barragem – Barragem do tipo heterogênea.



Fonte: LOPES (2008).

3.2.2 Barragens com núcleo ou diafragma

Independentemente de a barragem ser de corpo homogêneo ou heterogêneo, poderá ser necessária a construção de um núcleo impermeável. Locais onde não existe material com características adequadas para construção do maciço, ou quando verificada a presença de uma

camada de solo arenoso permeável, ou solos alagados, exigem a construção de barragens com núcleos impermeáveis. Será demonstrado com maiores detalhes no item 4.2.

3.3 Medição de Vazão do curso d'Água

Medir a vazão de um curso d'água é uma tarefa indispensável quando se pretende construir uma barragem, pois será a partir dela que se saberá se a quantidade de água a ser utilizada será suficiente para encher a represa, para compensar as perdas por evaporação e para atender aos objetivos propostos.

Segundo Lopes (2008, p. 124), a vazão de um curso d'água, refere-se ao: volume de água que passa em um determinado local do curso d'água por unidade de tempo, normalmente expressada em metros cúbicos por segundo (m^3/s), litros por hora (l/h) ou em litros por segundo (l/s).

Como a época da seca é o período mais crítico do ano, quando se observa a menor vazão de água no curso d'água, Lopes (2008) recomenda que seja medida a vazão ao final do período. Assim, se a vazão medida nessa época for suficiente para atender aos objetivos propostos, tem-se a garantia de que nos outros meses do ano também será atendido.

3.3.1 Método do Flutuador

Para que se possa estimar a vazão do curso d'água por meio desse método, é preciso estimar a velocidade média da água e a secção transversal média do curso d'água.

De acordo com Lopes (2008) este método se aplica na maioria dos cursos d'água, pois é mais adequado para cursos d'água onde seu leito apresenta larguras maiores que dois metros.

Para se obter a velocidade média do curso d'água, será necessário amarrar duas cordas no sentido transversal ao curso d'água (Figura 3), cuja distância entre elas deverá ser conhecida.

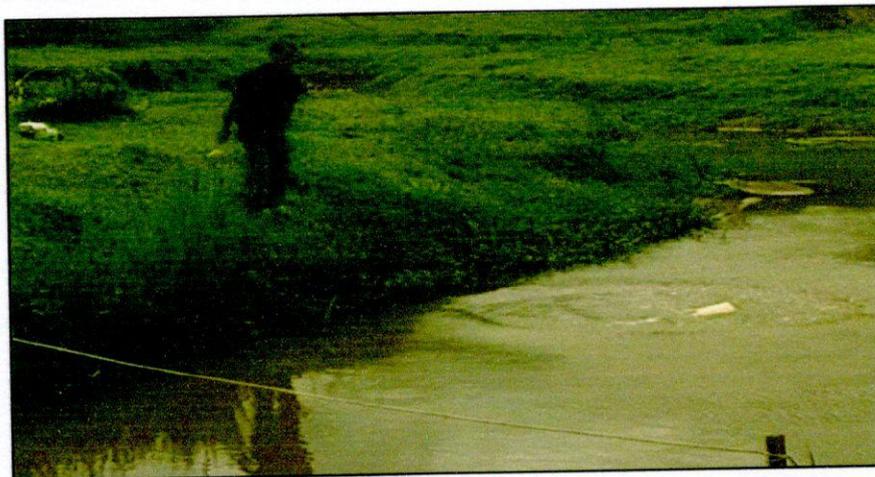
Figura 3- Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da medição de velocidade do curso d'água pelo método flutuador, delimitando secção do canal a ser medido (10 metros).



Fonte: (LOPES, 2008).

Em seguida, um recipiente com tampa cheio de água, chamado de flutuador, deverá ser jogado na água a uma distância de aproximadamente cinco metros antes da primeira corda (Figura 4); com um cronômetro, marca-se o tempo gasto para o flutuador percorrer os 10 metros marcados.

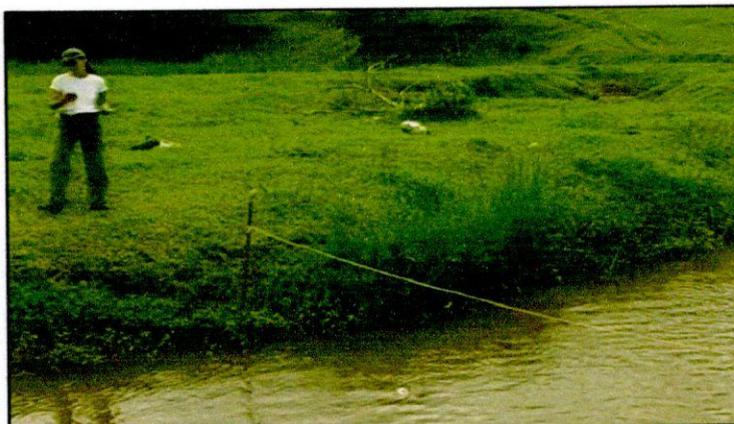
Figura 4 - Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da medição de velocidade do curso d'água pelo método flutuador, lançamento do flutuador cinco metros antes da seção do canal a ser medido.



Fonte: (LOPES,2008).

Este processo deverá ser repetido pelo menos três vezes para uma maior precisão da velocidade do curso d'água, obtendo um valor médio do tempo (Figura 5).

Figura 5 - Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da medição de velocidade do curso d'água pelo método flutuador, marcando o tempo que o flutuar leva para deslocar entre duas cordas.



Fonte: LOPES (2008,).

Assim sendo, obtém-se a velocidade média da água do curso d'água em questão (Figura 6).

Figura 6 - Medição de vazão curso d'água – Representação das fórmulas pelas quais se obtêm a média dos tempos e a velocidade do curso d'água em questão.

Determinação da vazão	
Tempo médio (seg)	$= \frac{\text{Tempo 1} + \text{Tempo 2} + \text{Tempo 3}}{3}$
Velocidade média da água (m/s)	$= \frac{10 \text{ m}}{\text{Tempo médio (s)}}$

Fonte: (LOPES,2008).

Para conhecer a seção transversal do curso d'água, deve-se substituir a corda que fora colocada anteriormente no curso d'água, por uma trena bem esticada, obtendo-se assim a largura do curso d'água neste local (Figura 7).

Figura 7 - Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, substituída a corda pela trena.



Fonte: (LOPES,2008).

Depois, nessa trena, devem-se fazer pelo menos três marcações igualmente espaçadas (Figura 8).

Figura 8 - Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, marcação na trena.



Fonte: LOPES (2008).

Em seguida, uma régua graduada deve ser colocada nessas marcações da trena, na vertical até tocar o fundo do canal (Figura 9).

Figura 9– Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, colocando régua graduada nas demarcações impostas na trena.



Fonte: (LOPES,2008).

Em seguida, deverão ser feitas leituras de altura da superfície da água do canal (Figura 10).

Figura 10– Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, obtendo a leitura na superfície do espelho d'água do curso d'água.



Fonte: LOPES (2008).

Anotadas, adquirindo-se a profundidade do canal em cada ponto (Figura 11).

Figura 11– Medição de vazão curso d'água – Representação esquemática da estimativa transversal do curso d'água pelo método flutuador, obtendo a profundidade do curso d'água.



Fonte: LOPES (2008).

Esse mesmo procedimento deverá ser repetido também na outra secção, ou seja, na outra corda colocada posteriormente. Para se obter a área de cada secção, primeiro, somam-se os valores de cada leitura que foram feitas em centímetros, divide-se o resultado por 100; o valor encontrado deverá ser dividido pelo número de leituras feitas mais um; multiplicando pela largura do curso d'água em metros, obtém-se a área transversal do curso d'água em metros quadrados (Figura 12).

Figura 12– Medição de vazão curso d'água – Representação das fórmulas pelas quais se obtêm soma das leituras e a média da área da secção em estudo do curso d'água em questão.

Área média da secção do curso d'água		
Soma das leituras em metros	=	$\frac{\text{Soma das leituras, em cm}}{100}$
Área da secção	=	$\frac{\text{Soma das leituras, em metros}}{\text{N}^\circ \text{ de leituras} + 1} \times \text{Largura do curso d'água, em metros}$

Fonte: LOPES (2008).

Somando as duas áreas encontradas, ou seja, da corda 1 e da corda 2, calcula-se a média. Após esses cálculos, finalmente, descobre-se a vazão do curso d'água em estudo, multiplicando a velocidade média encontrada pela área média encontrada e coeficiente de rugosidade das paredes laterais do curso d'água. Esse coeficiente tem a função de corrigir a velocidade superficial da água, que é diferente da velocidade da mesma no fundo e nas laterais do seu curso. Seu valor deve variar entre 0,6 e 0,8, para cursos d'água naturais, sendo 0,6 quando possuírem margens muito sujas, 0,7 quando possuírem margens com menos mato e 0,8 para margens praticamente limpas (Figura 13).

Figura 13– Medição de vazão curso d'água – Representação das fórmulas pelas quais se obtêm a média da área das secções e vazão média do curso d'água.

Área média da secção do curso d'água		
Área média da secção (m²)	=	$\frac{\text{Área da secção 1} + \text{Área da secção 2}}{2}$
Vazão média (m³/s)	=	$\text{Vel. média (m/s)} \times \text{Área média da secção (m}^2\text{)} \times C$

Fonte: LOPES (2008)

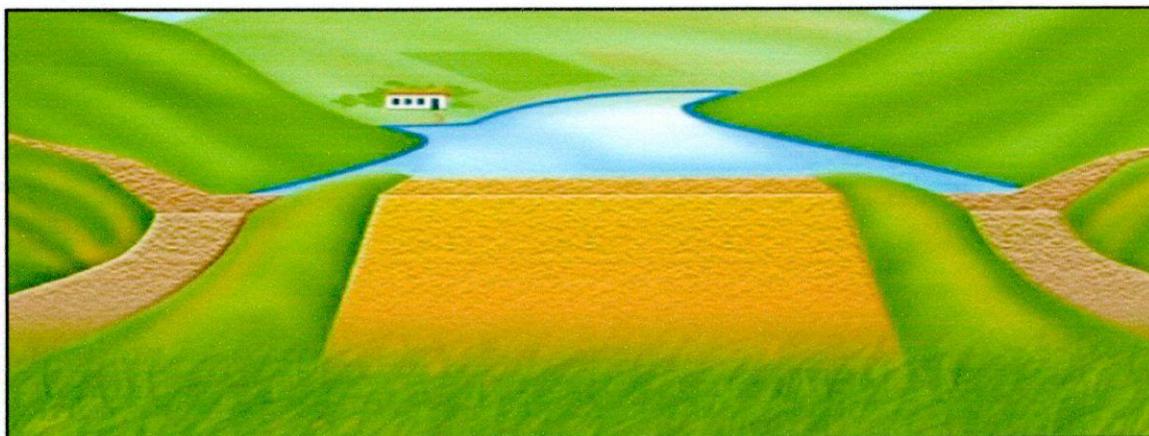
Vale lembrar que, qualquer que seja o valor da vazão do curso d'água, só será permitido utilizar uma porcentagem dessa vazão, que corresponderá ao valor da outorga no abastecimento a sua represa. A vazão restante deverá ser desviada do local onde a barragem será construída e retornar o curso d'água imediatamente após a barragem. Em muitos casos, esse desvio poderá ser necessário apenas durante o período de enchimento de sua represa,

para não faltar água, à jusante da barragem. Assim, logo após o enchimento da represa, toda água poderá passar dentro dela.

3.3.2 Volume de Água Represada na barragem

O dimensionamento de uma barragem deve ser feito, levando-se em consideração a finalidade para qual ela será construída. Em alguns casos, a estimativa do volume de água a ser acumulado é muito importante de ser feita; em outros, não. Quando o objetivo da barragem for o de elevar o nível da água para possibilitar a sua distribuição, por gravidade, em pequenas quantidades ou quando o interesse for o de criar peixes em tanques redes, por exemplo, a determinação do volume pode não ser o mais importante (Figura 14). Em situações como estas, geralmente, é importante saber qual a vazão mínima de água que deverá passar pela represa bem como a altura que a barragem deverá possuir para atender aos objetivos propostos.

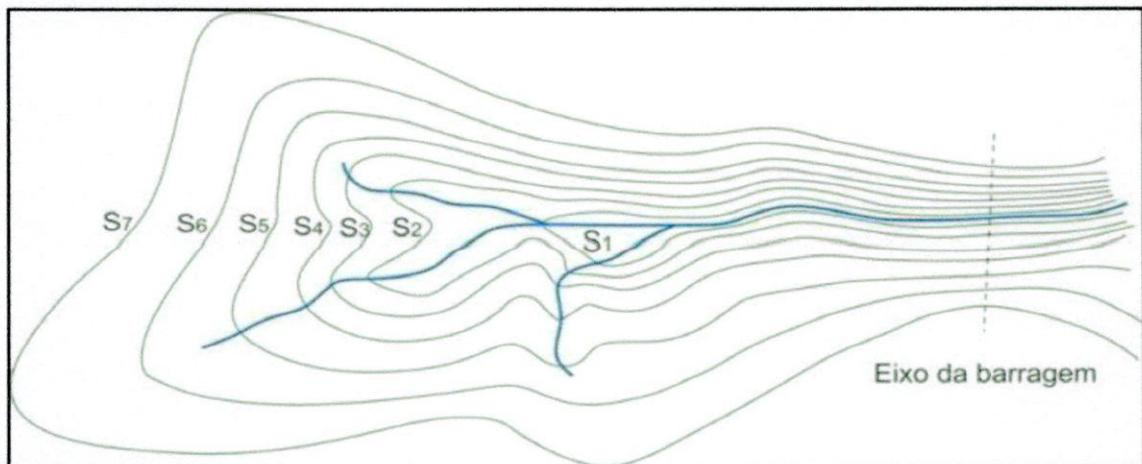
Figura 14 - Dimensionamento barragem – Representação esquemática da linha de inundação da barragem.



Fonte: LOPES (2008).

Quando o objetivo da barragem for permitir o fornecimento de água para sistemas de irrigação ou para geração de eletricidade, por exemplo, torna-se necessário estimar o volume de água que será armazenado. Nesses casos, será preciso contar com a participação de um topógrafo para traçar as curvas de níveis no local onde a água será represada (Figura 15). Com base neste traçado, será possível fazer a estimativa de água que será armazenada.

Figura 15– Dimensionamento barragem – Representação esquemática das curvas de nível em um local onde existirá uma barragem.



Fonte:(LOPES, 2008).

Para se determinar o volume de água que será armazenado na represa, Lopes (2008) e Atlas (2011) descreve como volumes parciais de água acumulada em cada subárea, delimitada por duas curvas de níveis subsequentes, que aparecem na figura 15, podendo ser calculada pela fórmula matemática a seguir:

$$V_n = \frac{(S_{n-1} + S_n) \times h}{2},$$

Sendo,

V_n = volume de água armazenado entre a curva de nível “n” e “n-1”;

S_{n-1} = área número n-1 em (m²);

S_n = área número m em (m²);

h = distância entre as curvas de nível n e n-1, em (m).

O volume total (V_t) de água represada será calculado, somando-se os volumes parciais obtidos entre as curvas de nível:

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n .$$

Como se pode observar na figura 15, a água represada abaixo da curva de nível S1 e o fundo da represa não deverão ser somados ao volume total de água represada.

Independentemente da finalidade da represa, quando esta estiver cheia, haverá naturalmente perdas de água por infiltração e por evaporação. As perdas por infiltração no

solo das laterais da represa e através da barragem são mínimas, para barragens bem construídas, podendo ser desconsideradas. Mas o mesmo não acontece com a evaporação da superfície. A temperatura ambiente, a incidência da radiação solar e o vento poderão ocasionar a saída de boa parte da água da represa na forma de vapor (Figura 16); em média, ocorre evaporação de 1000 litros de água por ano por metro quadrado de represa em regiões úmidas e de até 2500 litros de água, por ano, por metro quadrado de represa, em regiões secas.

Figura 16– Dimensionamento barragem – Representação esquemática evaporação de água da Barragem.



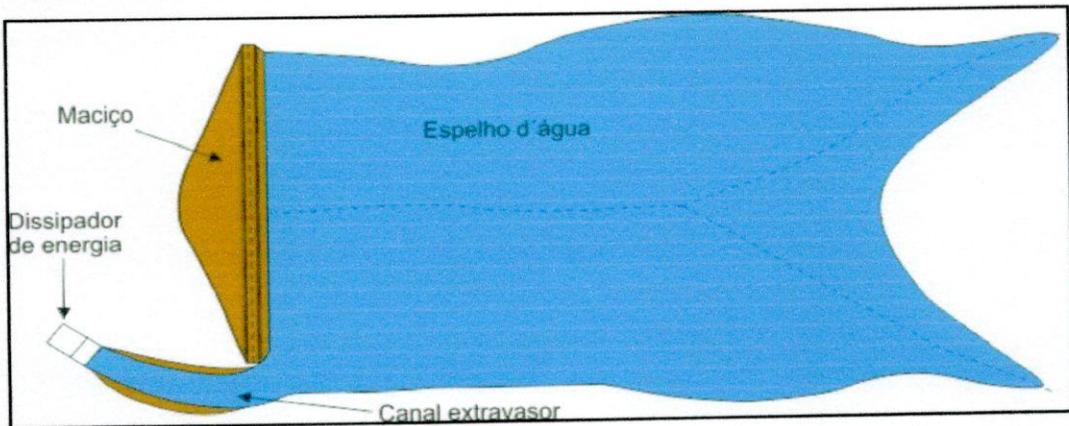
Fonte: LOPES (2008).

3.4 Elementos de uma barragem de terra

Uma Barragem de terra é uma estrutura constituída basicamente por cinco elementos principais: (Figura 17), (Figura 18), (Figura 19)

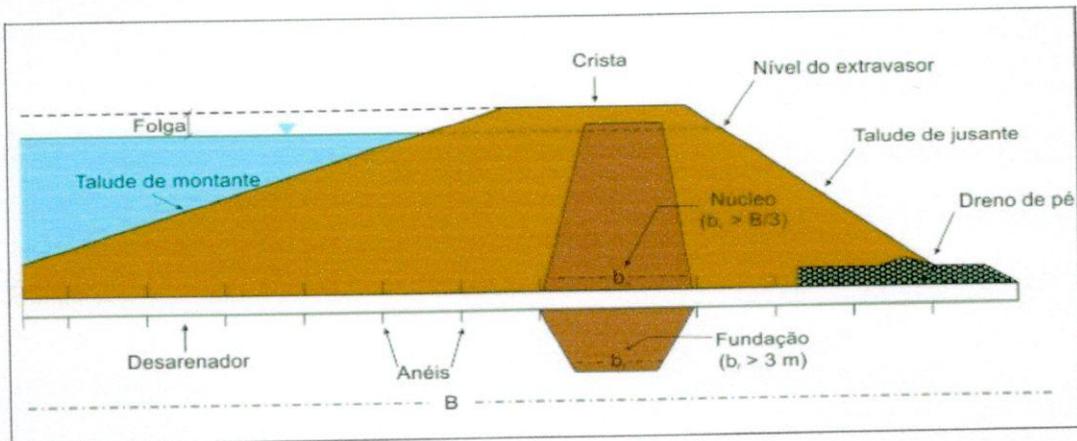
- O maciço de terra
- O núcleo impermeável
- O desarenador
- A tomada d'água
- O extravasor de água

Figura 17– Vista superior do maciço de terra, espelho d'água e canal extravasor.



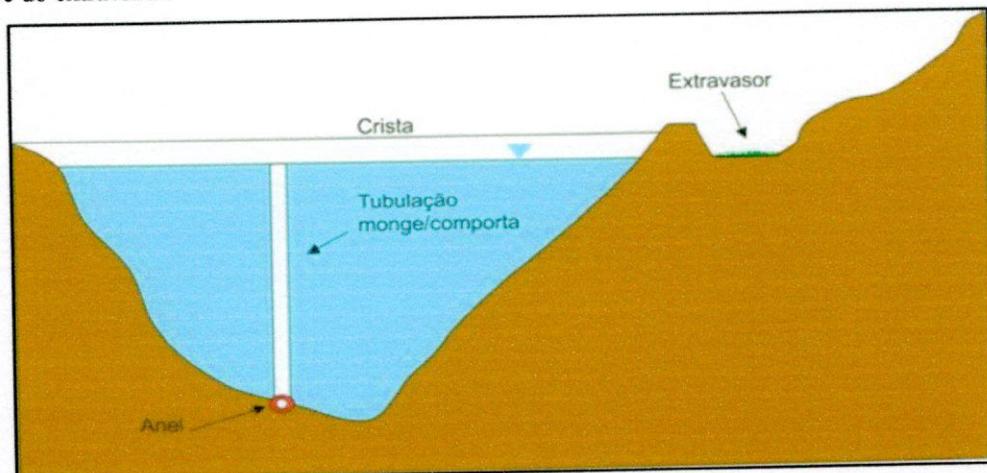
Fonte: Atlas digital das Águas de Minas

Figura 18– Representação esquemática dos elementos básicos de uma pequena barragem de terra.



Fonte: Atlas digital das Águas de Minas

Figura 19– Vista de perfil da bacia hidráulica, do desarenador e respectiva tubulação vertical e do extravasor.



Fonte: Atlas digital das Águas de Minas

3.4.1 Maciço de terra

De acordo com Lopes (2008), o maciço de terra, também chamado de corpo da barragem, deve ser construído em um local estratégico, geralmente transversal a um curso d'água, para permitir o represamento ou acúmulo de grandes volumes d'água conforme ilustrado pela Figura 20.

Figura 20– Vista de perfil maciço da barragem



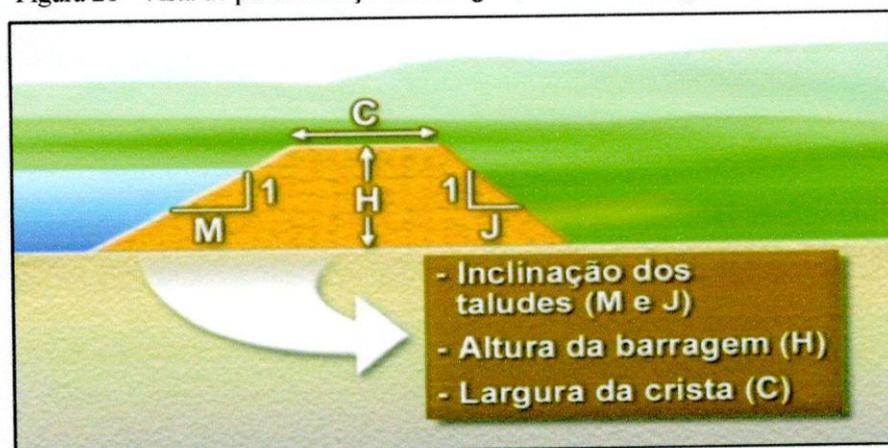
Fonte:(LOPES,2008)

As dimensões deverão ser suficientes para que a altura da lâmina d'água que se deseja obter na represa ou no açude seja alcançada, também para que resista à pressão de água sem que haja arrombamentos de acordo com o tipo de material que será utilizado na construção do maciço. A parte do maciço que fica assentada na parte inferior do terreno, onde a barragem será construída, chama-se Base da Barragem (figura 21); a parte superior chama-se Crista da Barragem; suas duas laterais são inclinadas, sendo a base mais larga do que a crista; a lateral que fica em contato com a água possui menor inclinação e se chama de talude de montante; a outra lateral possui maior inclinação e se chama talude de jusante; a distância entre a crista e a base da barragem, medida na vertical, é chamada de Altura Total da barragem.

Segundo Lopes (2008):

A Base da Barragem é a parte do maciço de terra que fica em contato com o solo onde a barragem será construída, sendo seu comprimento é geralmente o comprimento da barragem, já a largura depende das inclinações dos taludes, altura da barragem e a largura da crista.(LOPES, 2008, p.39)

Figura 21– Vista de perfil maciço da barragem, Base da Barragem.



Fonte: LOPES(2008).

Já o Atlas das águas (2011), descreve que a base da barragem é a projeção da crista e dos taludes de montante e jusante sobre o terreno, sobre o qual se coloca o aterro, propondo para cálculo da largura da base da barragem a fórmula seguinte:

$$B = C + (Z_m + Z_j).H$$

Onde,

B = Base da barragem (metros);

C = largura da Crista da barragem (metros);

Z_m = projeção horizontal no talude da montante (metros);

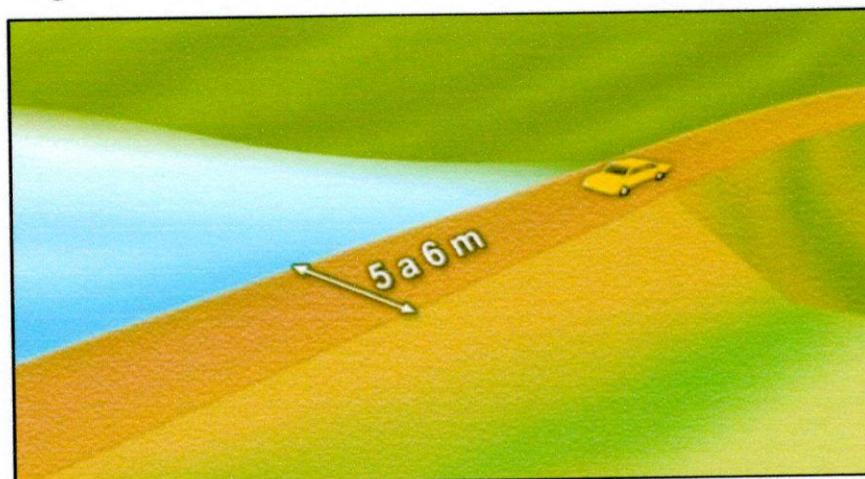
Z_j = projeção horizontal no talude da jusante (metros);

H = altura da barragem (metros).

Segundo Lopes (2008, p. 39), crista da barragem é (vide Figuras 22 e 23)

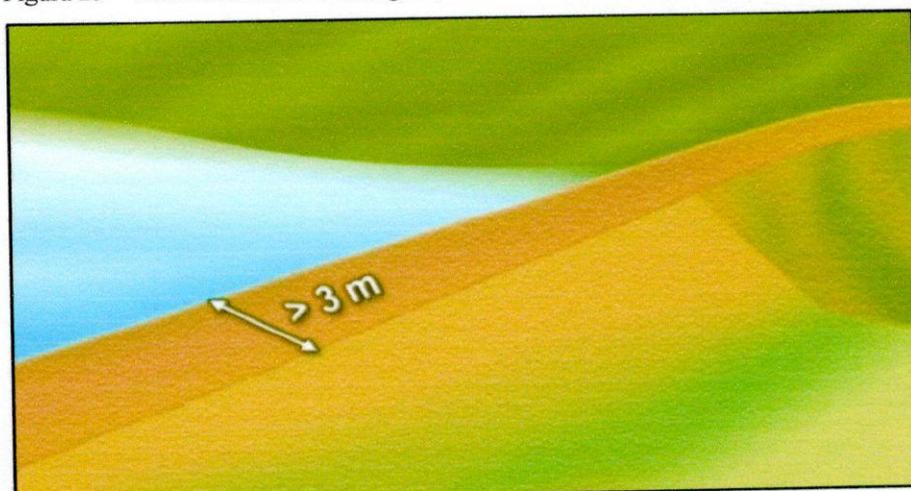
É a parte superior do maciço de terra, geralmente utilizada como estrada de ligação de uma margem a outra. Quando utilizada como estrada de tráfego, a largura desta crista não deve ser menor que cinco metros; quando não for de interesse utilizá-la como estrada de tráfego, deve ter largura mínima de três metros.

Figura 22– Vista da Cristal da barragem, utilizando-a como estrada de tráfego.



Fonte:(LOPES,2008)

Figura 23– Vista da Cristal da barragem, não a utilizando como estrada de tráfego.



Fonte: (LOPES,2008)

Também o Atlas das águas (2011) descreve que, na existência de tráfego na crista da barragem, pode ser calculado valor da largura da crista, utilizando-se a fórmula empírica do U.S Bureau of Reclamation:

$$C = \frac{H}{5} + 3$$

Onde,

C = largura da Crista da barragem (metros);

H = altura total da barragem (metros).

Segundo Lopes (2008, p. 41), as alturas da Barragem representam-se de três formas, conforme demonstra a figura 24. São elas:

Altura da barragem: é representada pela maior distância vertical entre a base e a crista da barragem. É necessário estabelecer, por motivos de segurança, que a água represada nunca irá passar sobre a crista, assim a altura total de barragem representada por (H), será formada por três partes:

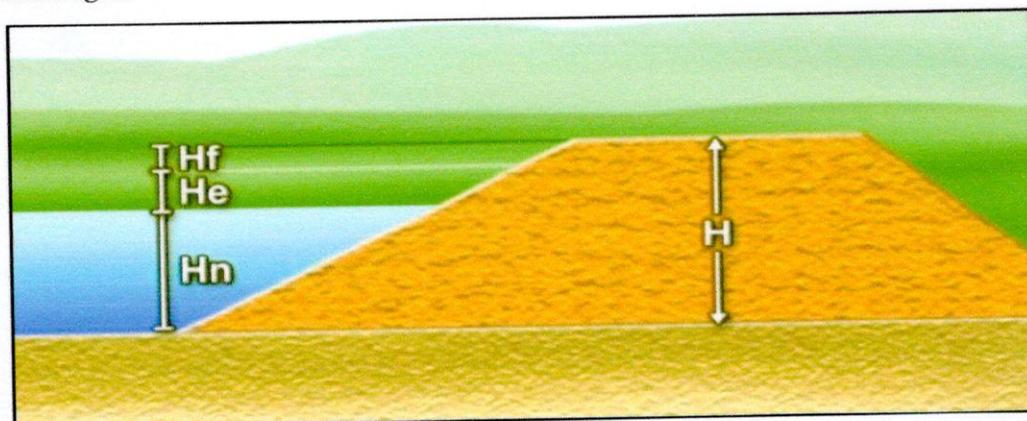
Altura normal: representada por (H_n), corresponde ao nível da água em condições normais de abastecimento da represa, na ausência de chuvas.

Altura de enchente: representada por (H_e), refere-se à elevação do nível da represa em ocasiões de enchente(chuvas), sem haver transbordamento de água sobre a crista da barragem.

Folga: representada por (h_f), diz respeito a uma margem de segurança, caso ocorra uma enchente superior a que foi considerada no projeto da barragem.

Os valores de H_n e H_e serão determinados de acordo com a finalidade da represa e das condições de clima e de relevo da região. Já a folga para barragens de até 10 metros de altura, variam de 0,50 metros a 0,80 metros.

Figura 24– Vista do maciço da barragem, representação esquemática dos componentes da altura da barragem



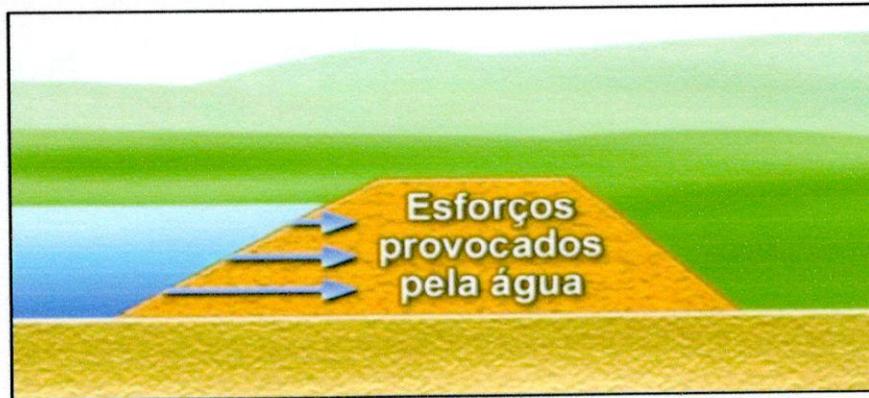
Fonte:(LOPES,2008)

Segundo Lopes (2008), os taludes da barragem de terra precisam ser inclinados basicamente por duas razões:

Esforços provocados pela água acumulada: esta água represada exerce esforços que variam de menor intensidade na altura da lâmina d'água e maior intensidade próximo a sua base. (Figura25). Sendo assim, pode economizar terra, mão de obra e horas de máquinas, construindo uma barragem mais larga na base (parte inferior da barragem) e mais estreita na crista (parte superior da barragem).

Facilidade de construção: é mais fácil construir uma barragem com as laterais inclinadas, exigindo, portanto, menos mão de obra, com menor custo. (LOPES 2008, p.42).

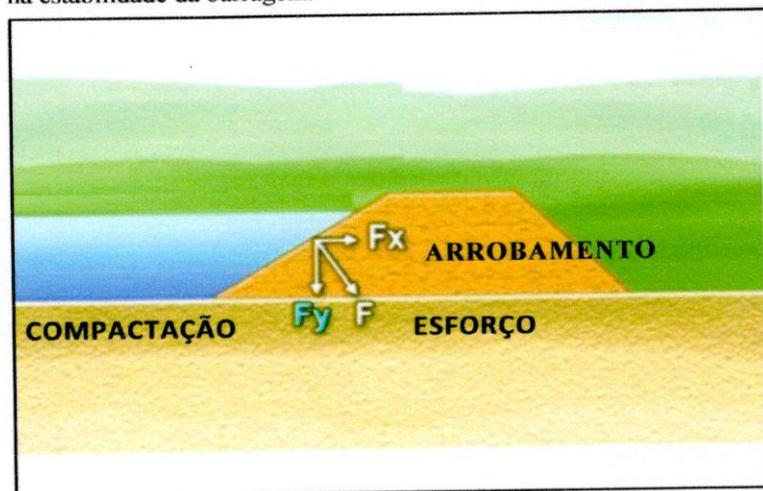
Figura 25– Vista do maciço da barragem, representação esquemática dos esforços provocados pela água sobre a barragem.



Fonte:(LOPES,2008)

O talude de montante deve ter uma inclinação menor do que o talude de jusante, para dar uma maior estabilidade na barragem, devido aos esforços provocados pela água. A água represada exerce um esforço resultante na barragem sobre esse talude de montante. Esse esforço é denominado de (F). Decompõe-se esse esforço em duas forças; uma, F_x no sentido horizontal, chamada de (F_x); e a outra, no sentido vertical, chamada de (F_y). Observando a figura 26, em o talude de montante com uma menor inclinação, a resultante (F_y) é maior, ajudando na compactação da barragem, enquanto a resultante (F_x), que tende a provocar arrombamentos, é menor.

Figura 26– Vista do maciço da barragem, ilustração da influência da inclinação do talude na estabilidade da barragem.



Fonte: (LOPES,2008).

Recomendam-se, tanto segundo Lopes (2008), quanto segundo o Atlas das águas (2011), algumas inclinações para taludes de montante e de jusante, conforme tabela 1 a seguir.

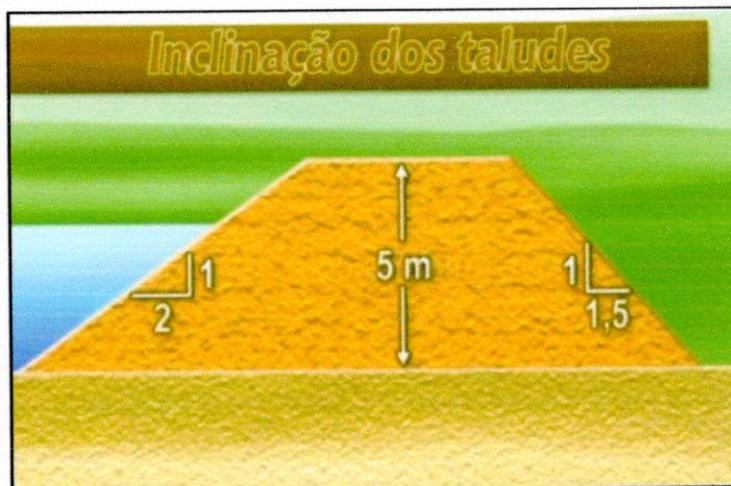
Tabela 1– Inclinações de Taludes em função da altura da barragem.

Altura da Barragem, em metros	Inclinação do Talude de montante, em metros	Inclinação do Talude de jusante, em metros
Até 5 metros	2,0 : 1,0	1,5 : 1,0
Entre 5 e 7,5 metros	2,5 : 1,0	1,5 : 1,0
Entre 7,5 e 10 metros	2,5 : 1,0	2,0 : 1,0

Fonte:(LOPES,2008).

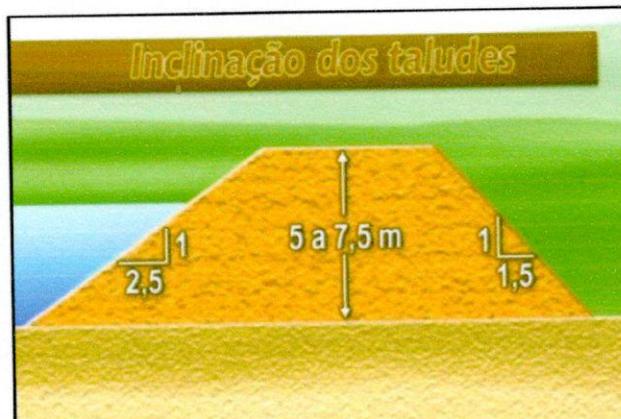
A inclinação dos taludes indica o comprimento da projeção horizontal, para cada metro de altura da barragem, mostradas respectivamente nas figuras 27, 28, 29.

Figura 27– Vista do maciço da barragem, ilustração da inclinação dos taludes para barragem de até 5 metros.



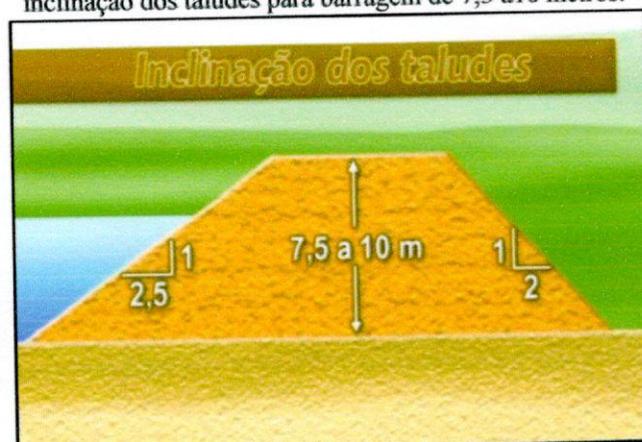
Fonte:(LOPES,2008)

Figura 28– Vista do maciço da barragem, ilustração da inclinação dos taludes para barragem de 5 a 7,5 metros.



Fonte:(LOPES,2008).

Figura 29– Vista do maciço da barragem, ilustração da inclinação dos taludes para barragem de 7,5 a 10 metros.



Fonte:(LOPES,2008).

De acordo com Lopes (2008), quanto aos tipos de solo, recomenda dar uma atenção especial à escolha do material(solos), ou seja, da terra que será utilizada na construção da barragem. Solos muito arenosos não são recomendados porque não permitem a obtenção de uma boa compactação e são muito permeáveis; se utilizados, poderão ocorrer elevadas infiltrações de água no maciço, colocando em risco a estabilidade da barragem.

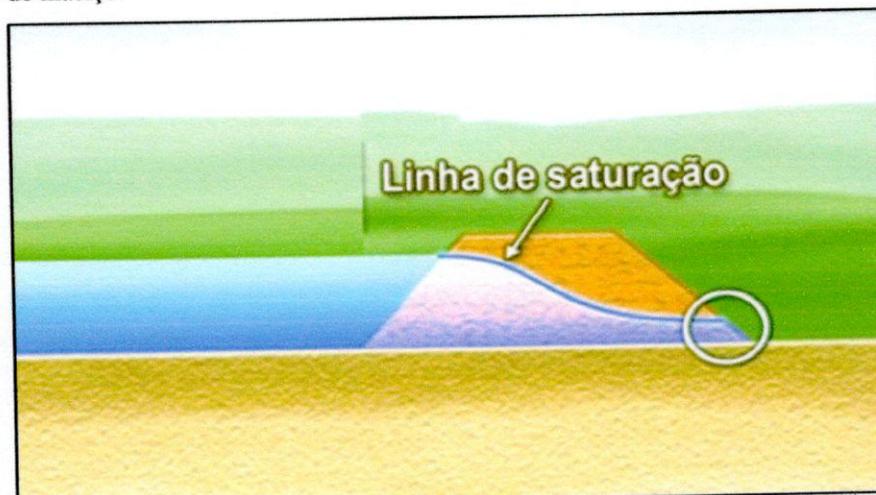
Solos muito argilosos também não são recomendados, pois podem apresentar rachaduras, principalmente quando a represa for esvaziada; com isso, estas rachaduras também proporcionarão consideráveis infiltrações de água no maciço, podendo comprometer a estabilidade da barragem. Além disso, quando muito umedecidos, podem se tornar propensos a deslizamentos, o que também é ruim.

Sendo assim, devem ser utilizados solos médios com uma menor parte de areia e a maior parte de partículas mais finas constituídas por silte e argila. Esses solos, quando secos, ao serem forçados, rompem-se em fragmentos resistentes, apresentando formatos irregulares.

Essa é uma característica marcante de solo bem estruturado, consistente e de granulometria adequada. Os solos que apresentam essas características dão origem a um material praticamente impermeável quando compactado, ideal para construção da barragem.

Além disso, represando-se a água, por melhor que sejam as características do solo na construção do maciço, sempre ocorrerá um pequeno e contínuo fluxo de água, causando um umedecimento de parte do maciço a partir da base da barragem. A altura máxima desse umedecimento é determinada pela altura do espelho d'água em contato com maciço, formando uma linha no interior do maciço chamada de linha de saturação. Essa linha de saturação aponta que, abaixo dela, o maciço de terra estará sempre umedecido. Se a base da barragem for estreita e a compactação do solo não estiver sido feita corretamente, a linha de saturação cairá fora da barragem (Figura 30) e, aos poucos, começarão a aparecer desmoronamentos no talude de jusante, colocando em risco sua estabilidade (LOPES, 2008).

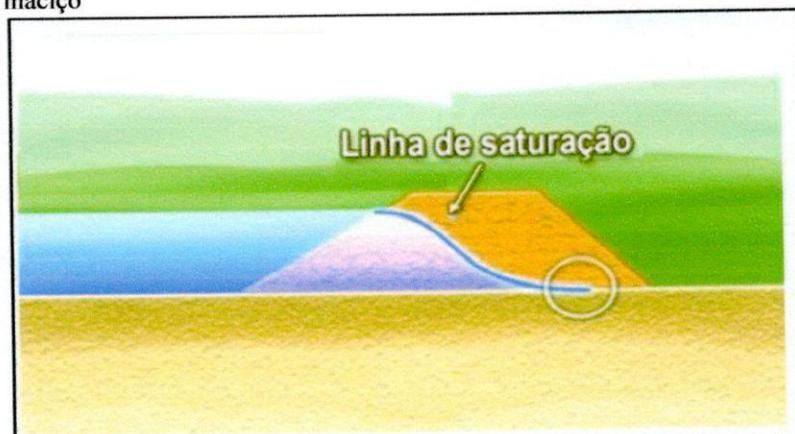
Figura 30– Vista do maciço da barragem, ilustração da linha de saturação caindo fora do maciço.



Fonte: (LOPES,2008).

Com a base mais larga e o solo corretamente compactado, a linha de saturação cairá dentro do corpo do maciço da barragem, eliminando, assim, os riscos de desmoronamentos (Figura 31). Essa é mais uma razão que justifica a utilização de um talude de montante com menores inclinações, o que resulta na necessidade de se construir uma barragem com base mais larga.

Figura 31– Vista do maciço da barragem, ilustração da linha de saturação caindo dentro do maciço



Fonte: (LOPES,2008).

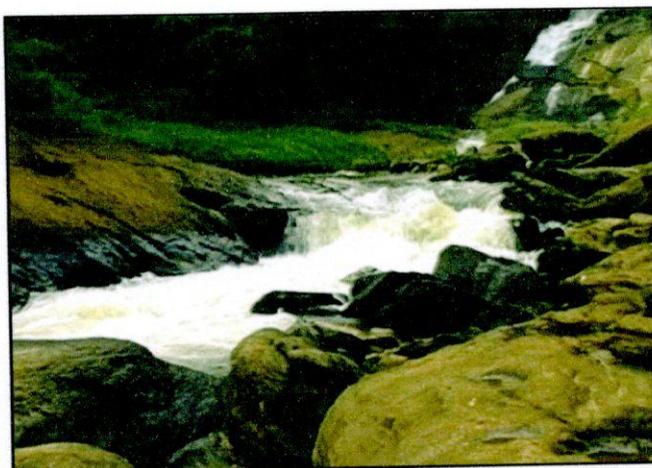
Lopes (2008) e o Manual de pequenas barragens Stephens(2011) descrevem que, nas barragens bem construídas, com a utilização solo adequado, mais argiloso, com pouca percentagem de areia, a declividade média da linha de saturação será em torno de 4 para 1, ou seja, a partir do ponto onde a lâmina d'água toca no maciço da barragem, a cada quatro metros medidos na horizontal, a linha de saturação descera um metro dentro do maciço da barragem.

3.4.2 Núcleo impermeável

Segundo Lopes (2008), antes de se construir a barragem, recomenda-se fazer uma avaliação do tipo do solo do local onde ela ficará assentada. Descreve basicamente quatro situações de solos diferentes, comuns de serem encontradas.

Solos com afloramento de rochas: deve-se evitar construir barragem de terra; isto porque, nestas condições, será muito difícil conseguir uma boa ligação entre o maciço e os lajedos de pedra; assim os riscos de deslizamentos com rompimento do maciço serão maiores. (Figura32).

Figura 32—Ilustração Solos como afloramento de rochas.



Fonte: (LOPES, 2008).

Solos secos firmes e profundos: esta é a condição ideal para a construção de barragem de terra. Nesse caso, recomenda-se fazer uma aração onde a barragem será construída (Figura 33). Assim, ao fazer a compactação da primeira camada de terra da barragem, será obtida uma boa ligação com o solo, o que garantirá a estabilidade do maciço de terra da barragem. Portanto, nessa situação, a barragem será assentada diretamente sobre o solo.

Figura 33—Ilustração Solos secos, firmes e profundos.



Fonte:(LOPES,2008).

Solos arenosos: Em solos arenosos ou solos argilosos superficialmente, mas com grandes camadas de areia, e pouca profundidade (Figura 34), não se recomenda apoiar o maciço da barragem diretamente sobre o terreno, porque, quando a represa encher, a possibilidade de ocorrerem altas taxas de infiltração de água, abaixo do maciço de terra, são grandes, o que poderá comprometer a estabilidade do maciço da barragem (Figura 35).

Figura 34 – Ilustração Solos arenosos ou argilosos superficialmente.



Fonte:(LOPES,2008).

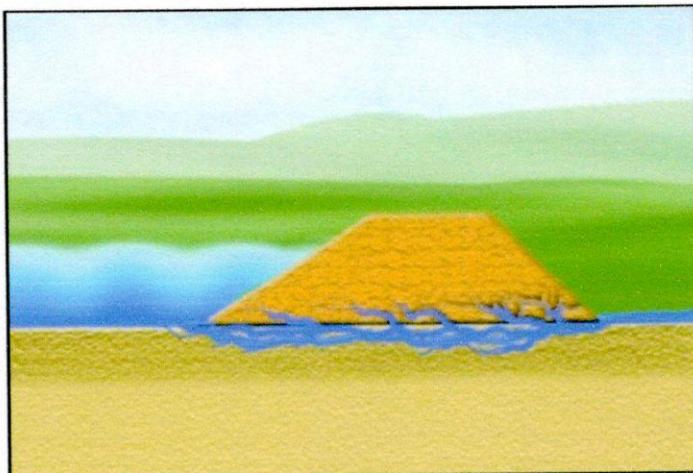
Solos Úmidos ou parcialmente Alagados(brejos): caso o solo seja úmido, caracterizando brejos, existem muitas micro nascentes ou nascentes difusas no local (Figura 35). Também não é recomendável construir o maciço de terra simplesmente apoiado sobre o terreno, pois a presença de nascentes embaixo do aterro poderá causar desmoronamentos do maciço da barragem (Figura 36).

Figura 35– Ilustração Solos úmidos ou parcialmente alagados.



Fonte:(LOPES,2008).

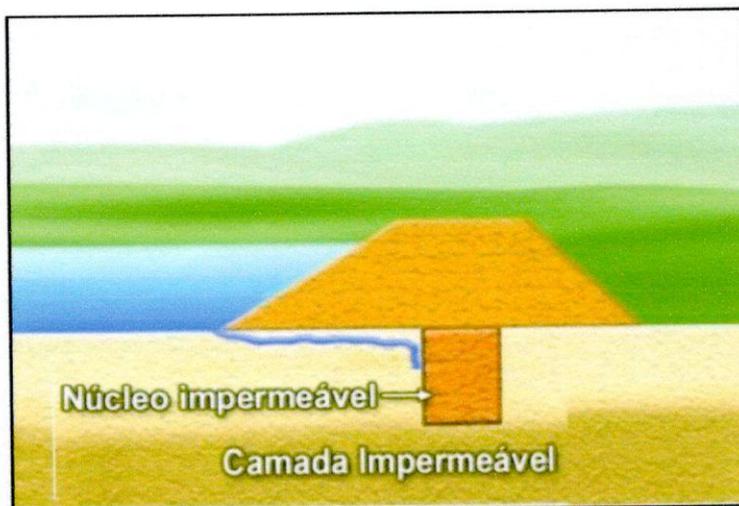
Figura 36–Vista do maciço da barragem, representação esquemática de infiltração de água sobre o maciço.



Fonte:(LOPES,2008).

Portanto, quando se tratar de solos arenosos, de solos úmidos ou parcialmente alagados será preciso construir um núcleo impermeável até alcançar a camada impermeável do solo (Figura 37). Esse núcleo impedirá o fluxo de água por baixo do maciço da barragem, o que garantirá a sua estabilidade.

Figura 37–Vista do maciço da barragem , representação esquemática de infiltração de água sobre o maciço até o núcleo impermeável.

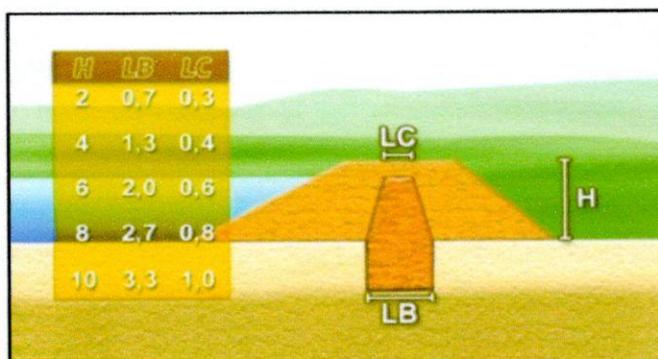


Fonte:(LOPES,2008).

O núcleo deverá ser construído na parte central do maciço da barragem, sendo mais largo na parte inferior (LB), e mais estreito na parte superior (LC); suas dimensões serão determinadas de acordo com a altura total do maciço da barragem, conforme apresentado na Figura 38.

Segundo Lopes (2008), o material ideal para se construir o núcleo do maciço de terra impermeável deve ser formado por solos de partículas finas e de pouca areia.

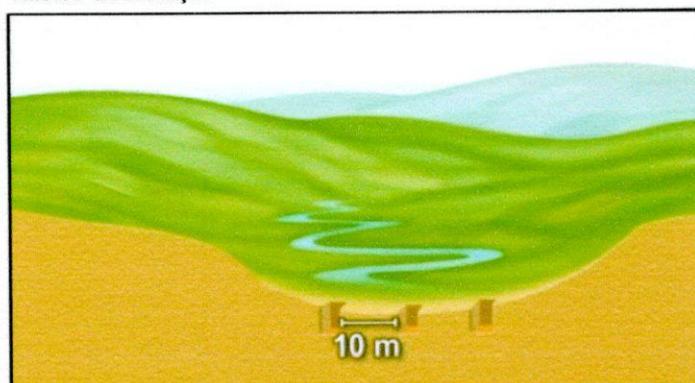
Figura 38–Vista do maciço da barragem, representação esquemática do núcleo e suas dimensões em função da altura do maciço.



Fonte:(LOPES,2008).

A camada impermeável do solo pode ser formada por rochas ou por uma camada de solo bem adensada, ou seja, um solo bem firme localizado abaixo da superfície do solo. A profundidade dessa camada influencia no tipo de barragem que será construída, por isso precisa ser determinada. Para pequenas barragens, utiliza-se um método prático, que consiste em fazer pequenas escavações onde será construído o maciço da barragem, com profundidade de até um metro. Essas escavações deverão ser feitas o mais próximo possível do local onde o provável núcleo impermeável será construído. A distância entre essas escavações deverá ser de no máximo dez metros ao longo do eixo do maciço da barragem (Figura 39).

Figura 39–Representação esquemática das escavações próximo ao núcleo do maciço.



Fonte:(LOPES,2008).

Em cada escavação, crava-se um vergalhão de aço com 3/8 de polegadas de diâmetro, três metros de comprimento, procurando atingir a camada impermeável (Figura 40). Caso ela venha a ser atingida, o indivíduo que está cravando o vergalhão de aço no solo irá perceber facilmente, porque este não entrará mais no solo.

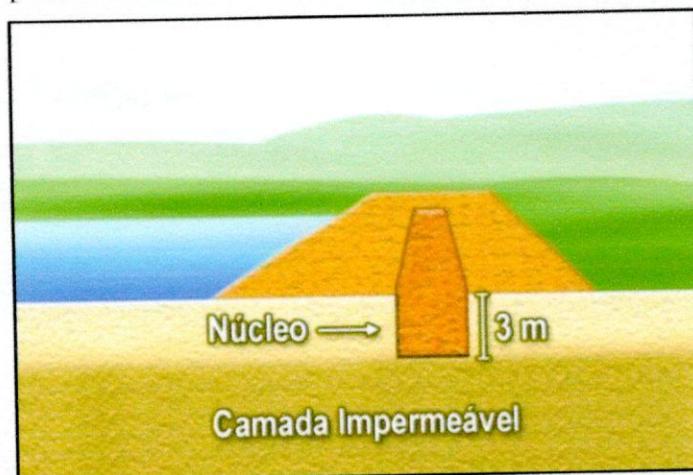
Figura 40—Representação esquemática, cravação da barra de aço, procurando atingir a camada impermeável do solo.



Fonte:(LOPES,2008).

Se a profundidade desta camada for de até três metros, deve-se construir uma barragem com núcleo impermeável até alcançar a camada impermeável (Figura 41).

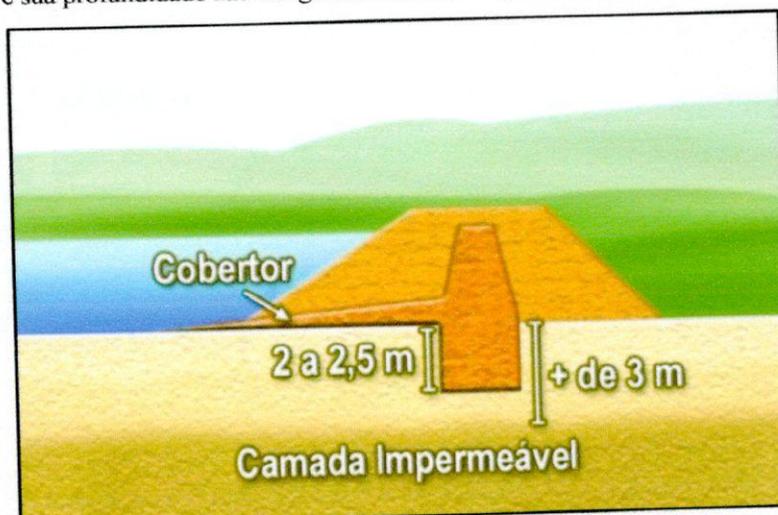
Figura 41—Vista do maciço da barragem, representação esquemática do núcleo e sua profundidade de até três metros, atingindo a camada impermeável do solo.



Fonte:(LOPES,2008).

Caso seja cravado todo vergalhão de aço e não se atinja a camada impermeável, é sinal de que esta se encontra mais profunda que três metros; sendo assim, o maciço da barragem deverá ser construído com núcleo e com cobertor impermeáveis. Nesse caso, a profundidade do núcleo deverá ser de dois a dois metros e meio (Figura 42).

Figura 42–Vista do maciço da barragem, representação esquemática do núcleo e sua profundidade não atingindo a camada impermeável do solo.



Fonte:(LOPES,2008).

3.4.2.1 Desarenador

Desarenador é uma tubulação colocada na parte de baixo do maciço da barragem para permitir o seu esvaziamento quando necessário. Para isso, ele deverá possuir uma comporta ou registro que permita sua abertura e seu fechamento do lado de fora da barragem. Lopes (2008) recomenda que, quando a lâmina d'água for de no máximo seis metros, o registro poderá ser colocado a jusante da barragem, o que facilitará sua operação e reduzirá os custos de instalação (Figura 43).

Figura 43– Vista do desarenador com registro.



Fonte: (LOPES,2008).

Para isso, será necessário utilizar tubos de pvc corrugados, cujas junções serão feitas sobre pressão, com duplos anéis de borrachas flexível, assim evitando vazamentos no interior do maciço da barragem, conforme ilustrado nas Figuras 44 e 45.

Figura 44 – Material para desarenador, tubo corrugado com juntas sobre pressão com anéis flexíveis.



Fonte:(LOPES,2008).

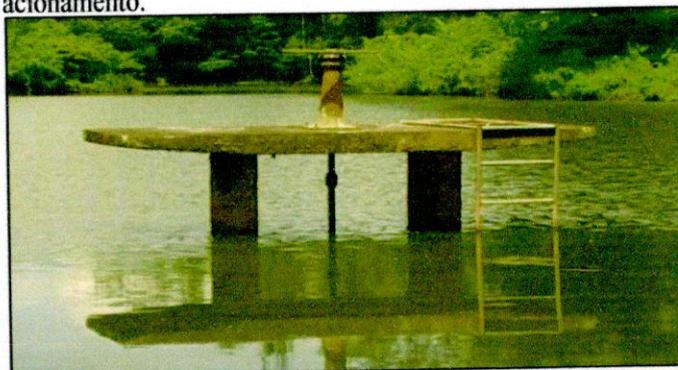
Figura 45– Material para desarenador, tubo corrugado com juntas sobre pressão com anéis flexíveis.



Fonte: (LOPES,2008).

Entretanto, quando a altura da lâmina d'água for superior a seis metros, recomenda-se fazer a instalação de uma comporta de ferro dentro da represa, ou seja, no montante da barragem. Esta deverá ser acionada por um volante, também acima da lâmina d'água e em local de fácil acesso. Isso deve ser feito para que a grande pressão da água acumulada dentro da tubulação não provoque vazamentos nas junções dos tubos nem coloque em risco a estabilidade do maciço da barragem (Figura 46).

Figura 46– Material para desarenador, comporta com volante de acionamento.



Fonte:(LOPES, 2008).

Lopes (2008) descreve também que para se determinar a vazão (Q) a ser utilizada no cálculo do diâmetro da tubulação do desarenador, é preciso considerar os seguintes aspectos:

- Determinar em quantos dias se pretende esvaziar a represa;
- Determinar o volume de água armazenado;
- Saber a vazão de água(Qn) que, normalmente, sai da represa a partir do momento em que a altura (Hn) for atingida pela água.

Sabendo essas informações, basta utilizar a fórmula seguinte, para se determinar o valor da vazão (Q) a ser considerado, para o cálculo do diâmetro da tubulação do desarenador.

$$Q = \frac{Vol}{86.400 \cdot t} + Qn,$$

Sendo,

Q = vazão de água que passará pelo desarenador, quando este se encontrar totalmente aberto (esvaziando a represa), em m³/s;

Vol = volume de água acumulado na represa até o nível Hn em m³/s;

t = tempo no qual se pretende esvaziar a represa, em dias;

Qn = vazão de água que passa pela represa, quando o nível Hn é atingido pela água, em m³/s.

Após o resultado de conhecimento da vazão (Q), determina-se o diâmetro da tubulação do desarenador, utilizando-se a fórmula:

$$D = k_1 x \left(\frac{Q}{C_{HW}} \right)^{0,38},$$

Sendo,

D = diâmetro mínimo da tubulação do desarenador, em cm;

Q = vazão da água que passará pelo desarenador, quando este se encontrar totalmente aberto, em m^3/s ;

C_{HW} = coeficiente adimensional (coeficiente da fórmula de Hazen-Williams), obtido em função do tipo de material da tubulação.

Tabela 2-Valores dos Coeficientes C adimensional da fórmula de Hazen-Williams.

Material	C_{HW}
Aço corrugado (chapa ondulada)	60
Aço em uso e ferro fundido em uso	90
Galeria de tijolos com bom acabamento	100
Aço revestido novo, manilha cerâmica	110
Concreto com acabamento comum	120
Aço galvanizado	125
Ferro fundido, novo ou revestido de cimento	130
Concreto com bom acabamento	130
Plástico, cimento amianto	140

Fonte: Construções de Pequenas Barragens, Lopes (2008).

k_1 = parâmetro de multiplicação, calculado pela fórmula a seguir:

$$k_1 = 162,472 \times \frac{1}{\left(\frac{Hn}{2 \times Ld}\right)^{0,2052}}$$

Sendo,

Hn = altura normal da água dentro da represa, em metros;

Ld = comprimento da tubulação do desarenador, em metros.

3.4.2.2 Tomada d'água

A tomada d'água refere-se a uma tubulação que deverá ser colocada na parte superior da barragem para permitir a saída da água que passa pela represa. Essa tubulação poderá ser de ferro fundido, de concreto armado ou de PVC, e deverá ser instalada na altura normal da lâmina d'água (Hn) (Figura 47).

Figura 47– Tomada d'água – Instalação da tubulação parte superior da barragem.



Fonte:(LOPES,2008).

A água que passar por essa tubulação poderá ser aproveitada, por exemplo, para enchimento de caminhões pipas, acionamentos de rodas d'água, para acionamento de bombas de pistão e para bombeamento de água.

Quando for de interesse utilizar a água de represa por gravidade e com pressão, a tomada d'água poderá ser instalada na parte inferior da barragem. Nesse caso, sua tomada d'água, que se refere ao local onde a água entrará na tubulação, deverá ser instalada aproximadamente meio metro acima do desarenador. Essa é uma situação em que a vazão da água requerida é maior que a vazão de água que sai normalmente da represa(excedente).

Segundo Lopes (2008):

Para dimensionamento da tubulação para tomada d'água, pode-se utilizar a mesma equação de condutos forçados (equação de Hazen-Williams). Com base na vazão desejada, comprimento da tubulação e o tipo de tubulação a utilizar, calcula-se o diâmetro necessário: (LOPES, 2008, p.78).

$$D = \left(\frac{Q}{0,279.C.J^{0,54}} \right)^{0,38}$$

Sendo,

D = diâmetro da tubulação, m;

Q = vazão tomada d'água;

C = coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams(Tabela 1);

J = perda de carga unitária m/m.

$$J = \frac{Hn}{2 \times Ld^2}$$

Sendo,

Hn= altura normal da água dentro da represa, em metros;

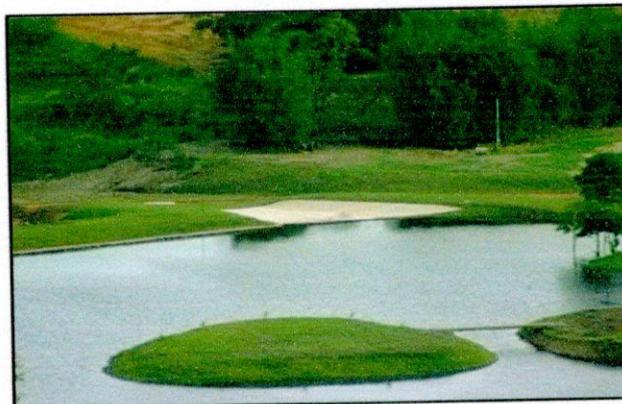
Ld= comprimento da tubulação da tomada d'água, em metros.

3.4.2.3 Extravasor de água

Estando a represa cheia, a água deverá passar por ela, saindo pela tomada d'água, porém nas ocasiões de chuva ocorrerá um aumento do nível da água represada. Como esse excesso não poderá passar sobre a crista da barragem, torna-se necessário construir um extravasor, também chamado de ladrão, que será responsável por permitir a passagem de água para jusante da barragem sem, no entanto, causar qualquer tipo de comprometimento da estrutura.

Segundo Lopes(2008), os tipos de extravasor mais comuns em pequenas barragens de terra são: os trapézio dais, quem deverão ser construídos sempre em terra firme, de preferência fora da barragem em uma das cabeceiras; mas, quando isso não for possível, poderão ser construídos sobre a própria barragem. Nesse caso, devem ser concretados para que se evitem erosões no aterro, uma vez que fatalmente comprometeriam a estabilidade da barragem (Figura 48) (LOPES, 2008, p. 81)

Figura 48 – Extravasor de água sobre a barragem.



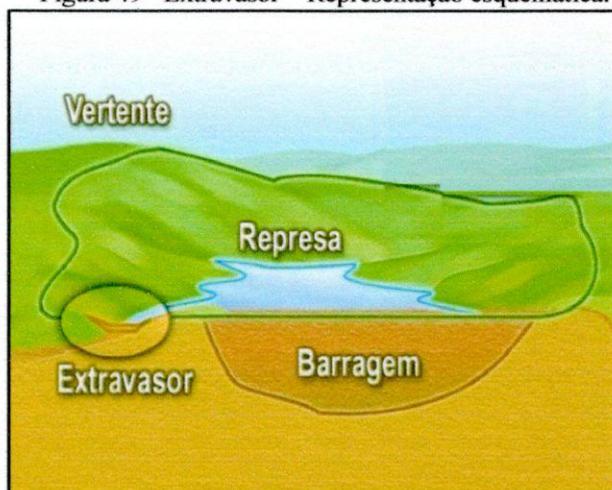
Fonte:(LOPES,2008).

Um curso d'água pode ser conhecido pelas seguintes características:

- **Curso d'água Perene:** é aquele que, quando a sua vazão pode ser considerada constante durante o ano, seu nível praticamente não varia. Isso ocorre quando os lençóis subterrâneos de água são suficientes para abastecê-lo de forma constante.
- **Curso d'água Intermitentes:** são os cursos d'água que sofrem variação durante o ano, permanecendo cheios na época das chuvas, mas apresentam uma redução de volume na época de seca. Nesse caso, os lençóis de água são insuficientes para abastecê-lo de forma constante.
- **Curso d'água Efêmeros:** são os cursos d'água que surgem apenas durante ou imediatamente após a ocorrência de chuvas, ou seja, existem apenas quando há escoamento superficial sobre o solo.

Observem-se as proporções de tamanho entre a microbacia, a represa e o extravasor.

Figura 49– Extravasor – Representação esquemática.



Fonte: (LOPES, 2008).

Lopes (2008) apresenta exemplo esquemático para se poder compreender melhor o funcionamento de um extravasor e como chegar ao seu dimensionamento. Na Figura 49, há uma microbacia de cabeceira bem definida pelos topos e pelas encostas, ou seja, pelas vertentes, na parte mais baixa existe uma represa, obtida por uma barragem de terra localizada em uma garganta natural do terreno, em um dos lados da barragem. Em terra firme, encontra-se o extravasor de água.

Quando ocorrerem as chuvas intensas e prolongadas, a parte da água que cai dentro da microbacia delimitada (linha de vertente) irá infiltrar-se no solo e maior a parte escoará sobre a superfície para parte mais baixa, chegando a represa. Quando toda essa água chegar até a represa, ocorrerá o aumento de nível. Ao chegar ao extravasor, todo esse excesso de água de escoamento de superfície deverá passar pelo extravasor, pois, caso contrário, haverá passagem

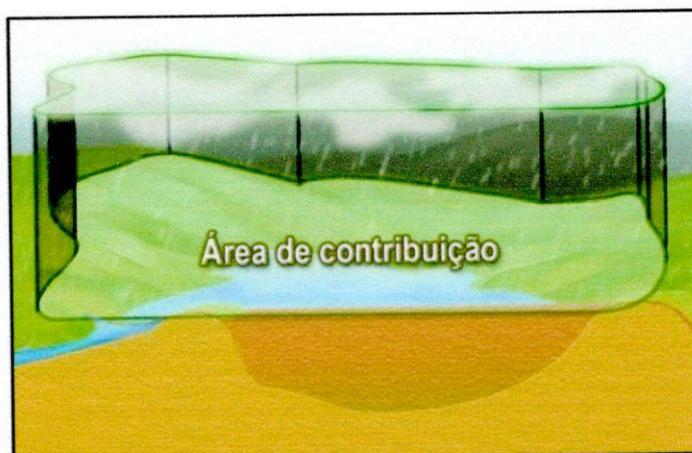
de água sobre a barragem e isso, como já exposto, não pode ocorrer. Por esse motivo, dimensionar corretamente o extravasor é tão importante quanto os demais cuidados que se devem ter durante todo o processo de construção da barragem.

Então, para se dimensionar o extravasor, torna-se necessário conhecer quatro parâmetros hidrológicos, que influenciam diretamente em seu dimensionamento. (LOPES, 2008, p.81).

São eles:

- **Área de Contribuição (AC):** é a superfície plana que cobre a bacia delimitada pelo topo das encostas, vertentes (Figura 50), ou seja, a área que irá receber a chuva. Essa área de contribuição poderá ser determinada de diversas maneiras, por levantamentos topográficos, por mapas e por fotos aéreas.

Figura 50– Área de contribuição – Representação esquemática.



Fonte: (LOPES, 2008).

- **Intensidade de Precipitação (IP):** é a lâmina d'água de chuva, medida em mm/hora, ou seja, representa quantos milímetros de chuva cairão na microbacia, delimitada no período de uma hora.

Vale lembrar que 1 mm de água é igual a 1 litro do líquido, distribuído uniformemente em uma área de 1m².

Também é de grande importância saber que as chuvas mais intensas são mais localizadas. Ocorrem geralmente em áreas menores, portanto a possibilidade de atingirem uma microbacia é bem maior. Além disso, quanto maior for a umidade do solo, menos água irá infiltrar, contudo maior será a quantidade de água de chuva drenada para a represa, devendo esta passar pelo extravasor.

O Atlas das águas(2011) recomenda:

Para os estudos hidrológicos, o programa de pesquisa e desenvolvimento HIDROTEC (Programa de Pesquisa e Desenvolvimento direcionado à geração e transferência de tecnologia de suporte para o planejamento, dimensionamento, manejo e gestão de projetos envolvendo os recursos hídricos, no Estado de Minas Gerais), para barragens localizadas em Minas Gerais Estados do Espírito Santo, Bahia, Goiás e Distrito Federal. (ATLAS DAS ÁGUAS, 2011).

Os estudos desenvolvidos no programa HIDROTEC para predição da vazão máxima de cheia(Q_{max}) em pequenas bacias, de forma a minimizar a tendência de se subestimar a vazão desejada ao aplicar o procedimento "extrapolação espacial da regionalização hidrológica", apontaram para a adoção do período de retorno de 500 anos para as regiões hidrográficas dos rios Paranaíba e Grande em território mineiro e período de retorno de 100 anos para as demais regiões hidrográficas, incluindo-se aí, partes dos Estados do Espírito Santo, da Bahia, de Goiás e do Distrito Federal, inseridas nessa biblioteca virtual. É possível obter os valores das vazões e dos volumes de regularização em reservatórios diretamente na rede hidrográfica das bacias. As consultas espaciais georeferenciadas mais utilizadas na estimativa dessas informações hidrológicas, nessa biblioteca virtual, são:

- **Informações em qualquer seção fluvial:** com o funcionamento *on-line* o usuário identifica, no mapa da rede hidrográfica da bacia apresentada na tela do computador, o curso d'água de interesse (visualmente e com apoio de coordenadas geográficas) e após um clique com o *mouse* sobre a seção fluvial de interesse, o sistema determina, automaticamente, a área de drenagem da bacia e os valores das vazões máximas, médias e mínimas;
- **Modelos ajustados por curso d'água:** também com o funcionamento *on-line*, o usuário identifica, no mapa da rede hidrográfica da bacia apresentada na tela do computador, o curso d'água de interesse (visualmente e com apoio de coordenadas geográficas) e, após um clique com o *mouse* sobre o curso d'água de interesse, o sistema apresenta uma tabela contendo os modelos hidrológicos das vazões máximas, médias, mínimas e de volumes de regularização em reservatórios, válido tanto para o curso clicado como também para todos os cursos d'água que nele deságuam.

Conhecida a vazão máxima de enchente / cheia ($Q_{máx}$), para o dimensionamento da base do extravasor de água. Sua altura representada por (H_v) deverá ser estimada, segundo Lopes (2008), para barragens com pequenas alturas, ou seja, barragens de até 5 metros de

altura. A altura da parede do extravasor (H_v) deverá ser de 0,70 a 0,80 metros e de 0,80 a 1,5 metros para barragens mais altas, de até 10 metros de altura (Figura 51).

Figura 51– Extravasor – Representação esquemática da altura da parede do extravasor em função da altura da barragem.



Fonte: (LOPES, 2008)

Assim, tem-se, sugerido pelo Atlas da águas(2011), o dimensionamento do extravasor pela equação de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

O raio hidráulico utilizado na equação de Manning é estimado como sendo:

$$R = \frac{A}{P}$$

A equação da área (A) e do perímetro molhado (P) varia de acordo com a geometria do canal. No caso de canal trapezoidal, as equações utilizadas são:

$$A = (b + z \cdot h) \cdot h$$

$$P = b + 2h \sqrt{1 + z^2}$$

onde,

V = velocidade da água no canal (m/s);
 n = coeficiente de rugosidade de Manning;
 R = raio hidráulico (m);
 I = declividade do canal (m/m);
 Q = vazão máxima de cheia (m³/s);
 A = área molhada (m²);
 P = perímetro molhado (m);
 b = largura da base do canal (m);
 h = altura máxima no canal (m);
 ez = inclinação dos taludes.

O Atlas das Águas (2011) descreve que: Calculado o valor da vazão máxima de enchente / cheia (Q_{max}), e com base no coeficiente de rugosidade de Manning, na inclinação dos taludes de acordo com a estabilidade do canal, na velocidade limite recomendada em função do tipo de canal e fixando-se o valor da altura do canal (H_v), pode-se calcular o valor da largura da base do canal (b) e o valor da declividade (I) de forma que a velocidade no canal projetado não ultrapasse a velocidade recomendada em função do tipo de material utilizado na construção do canal.

Tabela 3 – Valores do coeficiente de rugosidade “n” de Manning

Natureza das paredes	Condições das paredes			
	Muito boas	Boas	Regulares	Más
Canais de terra, retílineos e uniformes	0,017	0,020	0,0225	0,025
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes	0,025	0,030	0,0330	0,035
Canais curvilíneos e lamosos	0,025	0,025	0,0275	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação nos taludes	0,025	0,030	0,0350	0,040
Canais com fundo de terra e talude com pedras	0,028	0,030	0,0330	0,035
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014	0,016	0,018
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Gabião	0,022	0,030	0,035	-

Fonte: Atlas das Águas (2011).

Tabela 4– Inclinação dos taludes de acordo com a estabilidade de canais.

Natureza dos taludes	Inclinação (z:1)
Rocha dura, alvenaria comum, concreto	0:1 a 0,5:1
Rocha fissurada, alvenaria de pedra seca	0,50:1
Argila dura	0,75:1
Aluviões compactos	1,00:1
Cascalho grosso	1,50:1
Enrocamento, terra, areia grossa	2,00:1
Terra mexida, areia normal	3,00:1

Fonte: Atlas das Águas (2011).

Tabela5– Velocidades limites em função do material das paredes do canal.

Tipo de canal	Velocidade (m/s)
Canal em areia muito fina	0,20a0,30
Canal em areia grossa pouco compactada	0,30a0,50
Canal em terreno arenoso comum	0,60a0,80
Canal em terreno sílico-arenoso	0,70a0,80
Canal em terreno argiloso compactado	0,80a1,20
Canal gramado	1,00a 1,50
Canal em rocha	2,00a4,00
Canal de concreto	4,00a10,0

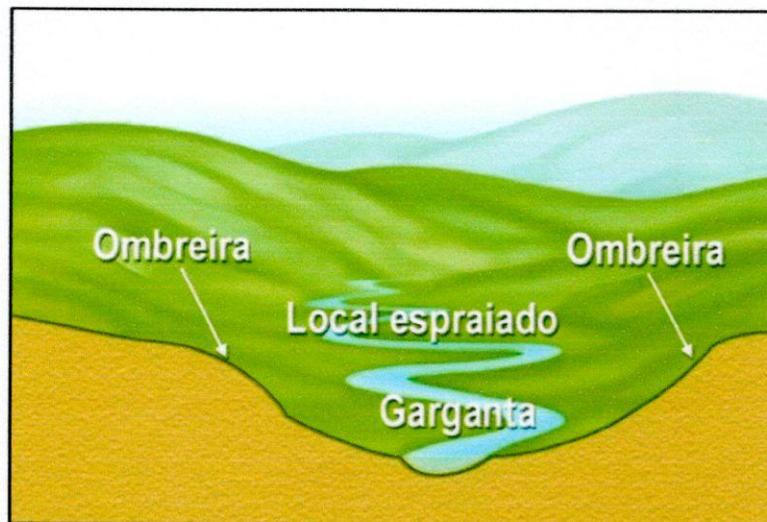
Fonte: Atlas das Águas (2011).

3.4.2.4 Escolhas do local para construção da barragem

O comprimento da barragem deverá ser o menor possível para reduzir o volume de terra necessário e, com isso, os custos de construção. É importante também considerar a distância de onde será feita a retirada do material que irá compor o maciço da barragem, pois, quanto mais longe, maior será o custo da barragem. Dessa forma, deve-se dar preferência aos locais onde existam estreitamentos naturais, que são comumente chamados de gargantas. As Laterais da garganta onde a barragem será construída chamam-se ombreiras. O local onde a água será represada deverá ser bem espraído e possuir pouca declividade, para permitir acumular maior volume de água, com menor altura da barragem (Figura 52).

Lopes (2008) e o Atlas das águas (2011) recomendam que a escolha do local onde a barragem será construída deverá ser feita com bastante critério, não devendo haver afloramentos de rocha nem nascentes de água.

Figura 52– Escolha do local –Representação esquemática da garganta, ombreiras, área espraída.



Fonte: Construções de Pequenas Barragens, Lopes (2008).

3.4.2.5 Controles tecnológicos para a construção do aterro da barragem.

3.4.2.5.1 Aspectos Gerais

Lozano (2012) afirma que, seja qual for o volume de aterro, qual seja o solo do local e das possibilidades de áreas de empréstimo (de onde se remove o solo), há um procedimento executivo de engenharia civil geotécnica adequado que proporcionará economia e segurança.

Sem a devida aplicação dos conhecimentos geotécnicos na execução desses aterros, muitos problemas poderão ocorrer, em pequenas e em grandes obras de engenharia, como exemplificados por Lozano(2012) a seguir:

- Deslizamentos de taludes, contenções e muros de arrimo;
- Vazamentos de lagoas de tratamento de resíduos e líquidos;
- Erosões internas em diques e barragens;
- Não enchimento de lagoas, diques e barragem por perda de água.

Ao projetar um aterro, devem-se conhecer as propriedades de engenharia dos solos a serem utilizados e que virão do empréstimo. Têm-se as propriedades de resistência, de compressibilidade, e as permeabilidades, que serão determinadas por intermédio de ensaios de laboratório, realizados em amostras de solos extraídas das áreas de empréstimo. Geralmente, têm-se várias possibilidades de áreas de empréstimo e, em cada uma destas, há diversas camadas de solo com diferentes características e em profundidades distintas. Isso requer um estudo de alternativas, procurando identificar entre elas a melhor alternativa técnica e econômica de empréstimo. Há algumas técnicas recomendáveis que podem ser vistas como parte integrante de um controle tecnológico para se evitar problemas futuros na obra de aterro. Esse procedimento deve ser revestido de bom senso, evidentemente, pois, sempre se tem que observar o custo e o benefício envolvido naquela obra. É preciso projetar a execução do aterro com conhecimento prévio dos solos existentes, mais próximos ao local da obra e nas áreas de menor custo de escavação. Este deve ser projetado para os solos de menor custo, existentes próximos à obra. Os solos para execução dos aterros são provenientes de escavações e, por meio dos ensaios de laboratório, se determinam as propriedades de resistência, de compressibilidade e ou de permeabilidade. Com esses parâmetros, tornam-se possíveis os cálculos de engenharia geotécnica, que então proporcionarão o dimensionamento dos taludes, dos aterros e das camadas “impermeáveis”, entre outras, que trarão a devida segurança à construção da barragem de terra (LOZANO, 2012).

3.4.2.5.2 Empolamento e Contração do Solo

Segundo Trenter (2001), sempre que solo (ou rocha) é removido de sua posição original, que é o terreno natural inalterado, ocorre um rearranjo na posição relativa das partículas (grãos), acarretando um acréscimo no volume de vazios da massa. Uma vez escavado, o material fica mais solto e, conseqüentemente, sua densidade cai. A esse fenômeno físico pelo qual o material escavado experimenta uma expansão volumétrica, dá-se o nome de **empolamento**, expresso em percentagem do volume original. O empolamento varia com o tipo de solo ou rocha, com o grau de coesão do material original e com a umidade do solo.

Analogamente, quando uma quantidade de terra é lançada em um aterro e compactada mecanicamente, o volume final é diferente daquele que a mesma massa ocupava no corte. A essa diminuição volumétrica, dá-se o nome de **contração**. O fenômeno varia com o tipo e com a umidade do material, com o tipo de equipamento de compactação, com a espessura das camadas do aterro, etc. (TRENTER, 2001).

Podem-se calcular estes fatores em percentual, por intermédio de fórmulas:

$$\text{Empolamento} = \frac{Y_{\text{corte}}}{Y_{\text{solto}}} - 1$$

$$\text{Contração} = \frac{Y_{\text{corte}}}{Y_{\text{aterro}}} - 1$$

Onde,

Y_{corte} , peso específico de solo no corte;

Y_{solto} , peso específico de solo solto;

Y_{aterro} , peso específico de solo no aterro.

3.4.2.5.3 Ensaios de avaliação do solo realizados em laboratório.

Os ensaios mais difundidos para a avaliação de um solo a ser empregado em um aterro são os ensaios de compactação (Proctor), a análise granulométrica por peneiramento e o ensaio físico para a determinação dos limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP) e do conseqüente índice de plasticidade (IP) (TRENTER, 2001).

Segundo Trenter (2001), esses ensaios visam caracterizar o solo avaliado quanto à resistência mecânica, à compressibilidade e à permeabilidade. Estes são os fatores mais importantes na hora de se avaliar um material a ser utilizado na execução de um aterro. O

efeito da compactação no solo, feito por alguma forma de energia (impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica), é o aumento do seu peso específico e da resistência ao cisalhamento, e de uma diminuição do índice de vazios, de permeabilidade e de compressibilidade.

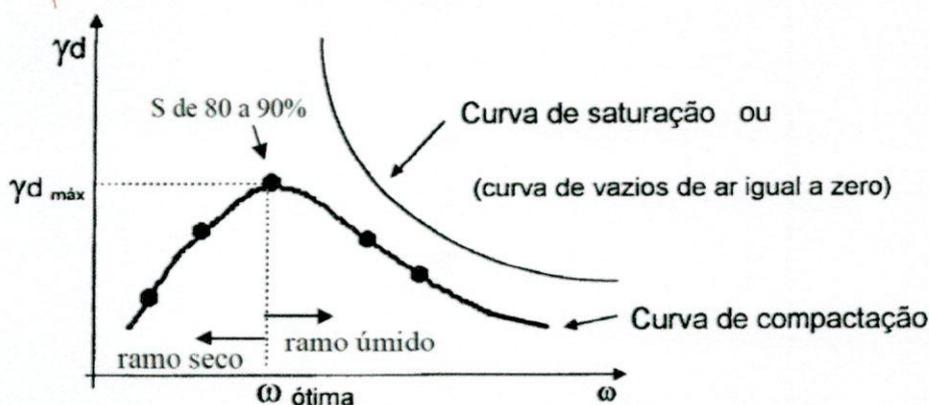
Segundo Bastos (2011), compactação do solo são os procedimentos que visam a aumentar a compacidade de um solo pela redução de vazios, por meio de esforços externos, gerados por meios mecânicos, tendo como objetivo a redução da compressibilidade, o aumento de resistência, a redução da variação volumétrica por umedecimento e por secagem e a redução na permeabilidade.

Como procedimento de compactação, Bastos (2011) cita técnicas básicas:

- Lançamento de material de empréstimo (oriundo de jazida) ou do próprio local;
- Passagem de equipamentos que transmitam ao solo a energia de compactação de carga móvel por amassamento, por impacto ou por vibração e ou carga estática.

Segundo Bastos (2011), com o baixo teor de umidade(ω), o atrito entre as partículas de solo é alto, o que dificulta a compactação. Como aumento do teor de umidade(ω), verificasse um efeito lubrificante entre as partículas de solo, aumentando a compactação enquanto a saída de ar é facilitada. Após certo teor de umidade próximo à saturação, chamado de umidade ótima (ω ótima), a compactação não consegue mais expulsar o ar dos vazios do solo, sendo que a maior quantidade de água resulta em redução de densidade.

Figura53 - Curva de Compactação



Fonte: (BASTOS, 2011).

Onde,

γ_d , Peso específico;

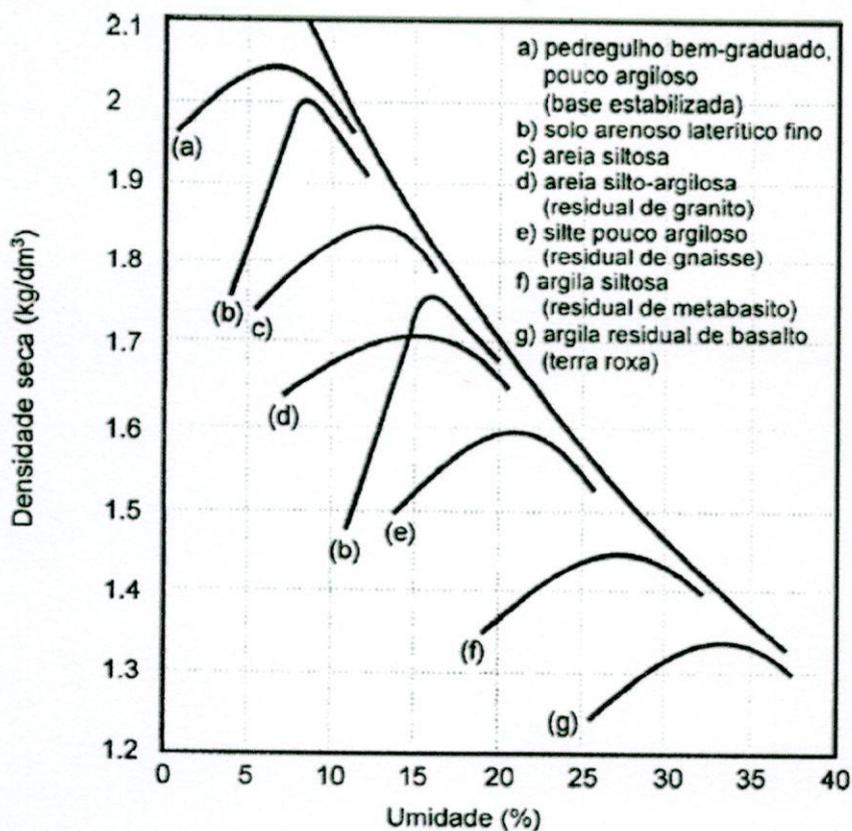
ω , umidade;

S, Grau de Saturação.

Segundo Bastos (2011), alguns valores típicos de pesos específicos (γ_d) e umidades ótimas (ω ótima) para solos mais comuns são:

- Solos Argilosos: $\gamma_{d\text{máx}}$ 14 a 15 KN/m³ e ω ótima 25 a 30%;
- Solos Siltosos: valores baixos para $\gamma_{d\text{máx}}$ e curvas bem abatidas;
- Areias com pedregulhos bem graduadas: $\gamma_{d\text{máx}}$ 20 a 21 KN/m³ e ω ótima 9 a 10%;
- Areias finas argilosas Lateríticas: $\gamma_{d\text{máx}}$ aproximadamente 19 KN/m³ e ω ótima 12 a 14%.

Figura54 - Curva de Compactação para diferentes solos



Fonte: (BASTOS,2011).

3.4.2.5.2.1 Ensaio de Compactação (Proctor)

O ensaio determina a relação entre o teor de umidade do solo e seu peso específico aparente seco.

Divulgado em 1933 pelo engenheiro Ralph R. Proctor, o método para controle de compactação revela um dos mais importantes princípios da mecânica dos solos: "A densidade com que um solo é compactado sob uma determinada energia de compactação depende da umidade do solo no momento da compactação".

Há três tipos de ensaio Proctor: Normal, Intermediário e Modificado. A diferença entre eles está basicamente na variação de energia utilizada na compactação devido ao maior número de golpes com o soquete. NBR 7182/86

Tabela 6 - Energia de compactação Proctor.

TABELA - Energias de compactação

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

Fonte: NBR 7182/86

Energias de compactação(E):

$$E = \frac{P \cdot h \cdot N \cdot N}{V} \text{ em (Kg.cm/cm}^3\text{)}$$

Onde,

P = Peso soquete;

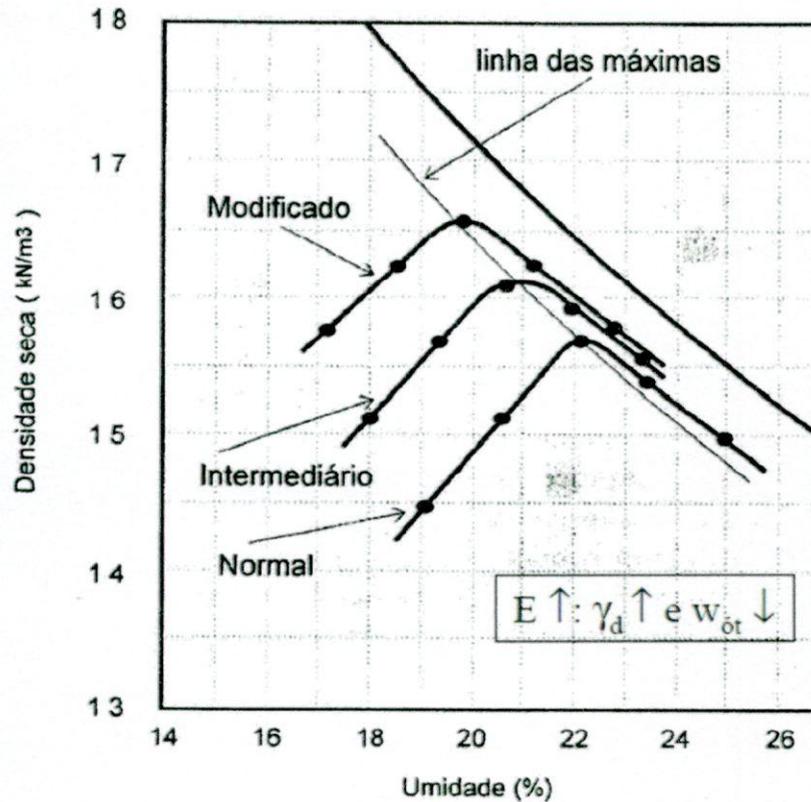
h = altura do soquete;

N = número de golpes por camada;

n = números de camadas;

V = Volume de Solo compactado.

Figura 55 - Curva de Compactação para Energias do Proctor Normal, intermediário e Modificado.



Fonte: (BASTOS 2011).

3.4.2.5.2.2 Ensaio de Granulometria:

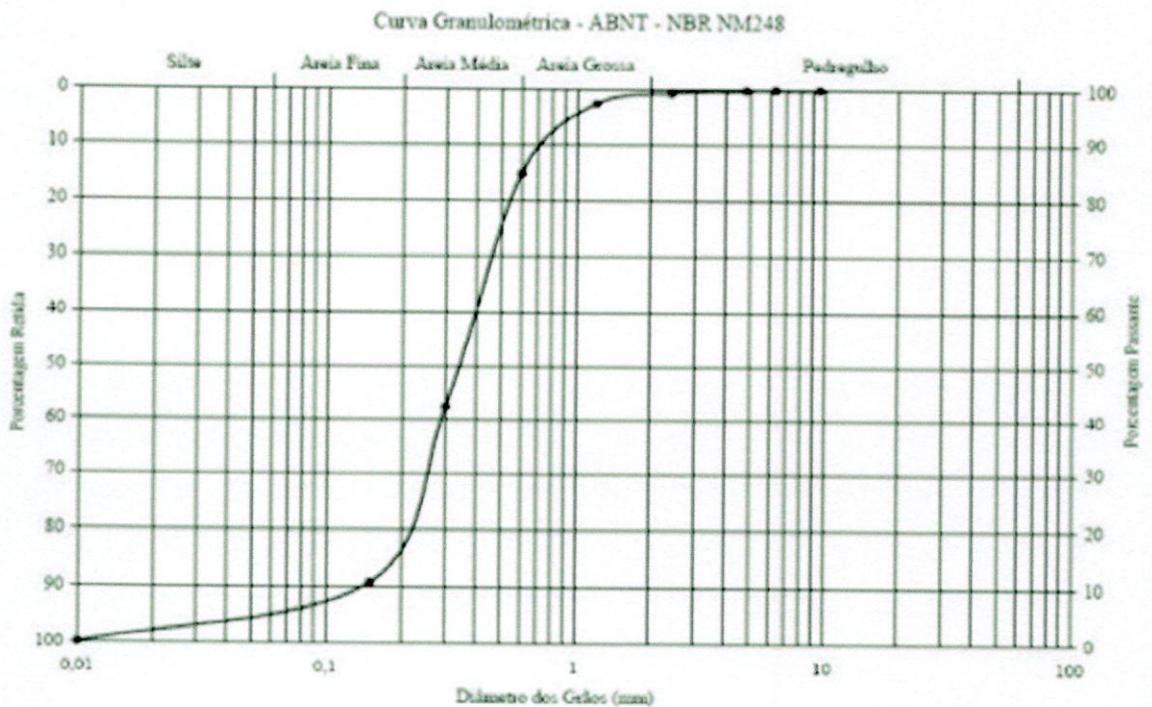
O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. A partir dos resultados obtidos com esse ensaio, é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, tão importante para a classificação dos solos bem como para a estimativa de parâmetros para filtros, de bases estabilizadas, de permeabilidade, de capilaridade e etc (TRENTER, 2001).

A determinação da granulometria de um solo pode ser feita apenas por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário. O processo de peneiramento é adotado para partículas (sólidos) com diâmetros maiores que 0,075mm (#200). Para tal, utiliza-se uma série de peneiras de abertura de malhas conhecidas, determinando-se a percentagem em peso

retida ou passante em cada peneira. Este processo divide-se em peneiramento grosso, para partículas maiores que 2mm (#10) e peneiramento fino, para partículas menores que 2mm (TRENTER, 2001).

Para o peneiramento de um material granular, a amostra é, inicialmente, seca em estufa e seu peso determinado. Esta amostra será colocada na peneira de maior abertura da série previamente escolhida e levada a um vibrador de peneiras onde permanecerá pelo tempo necessário à separação das frações. Quanto o solo possui uma porcentagem grande de finos, porém não interessa a sua distribuição granulométrica, faz-se, primeiramente, uma lavagem do solo na peneira nº 200, seguida da secagem em estufa do material retido e de posterior peneiramento. Este procedimento leva a resultados mais corretos do que fazer o peneiramento direto, da amostra seca (TRENTER, 2001).

Figura 56 - Curva Granulométrica



Fonte: NBR NM248

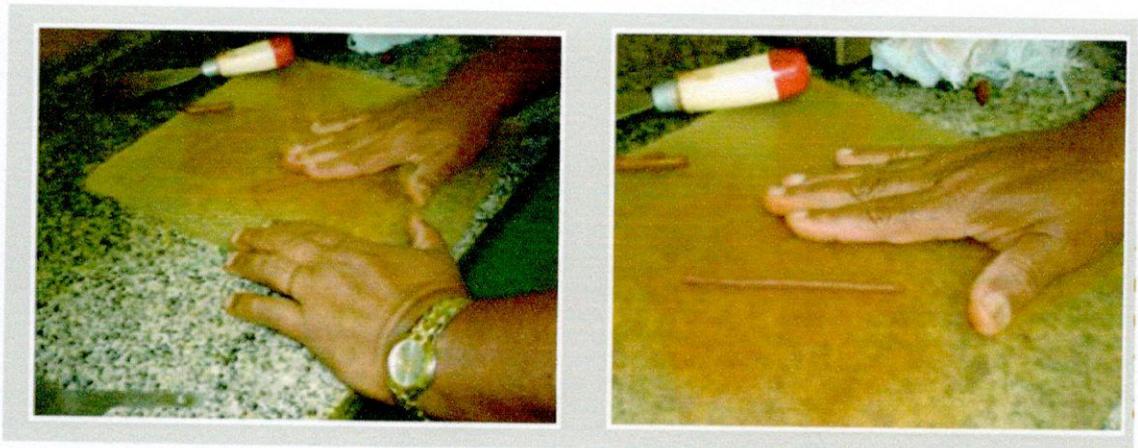
3.4.2.5.2.3 Ensaio de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP):

A plasticidade do solo, ou limites de consistência, é determinada por meio de dois ensaios: limite de liquidez e limite de plasticidade.

O Limite de plasticidade (LP) é o teor de umidade abaixo do qual o solo passa do estado plástico para o estado semi sólido, ou seja, ele perde a capacidade de ser moldado e passa a ficar quebradiço. Deve-se observar que essa mudança de estado ocorre nos solos de forma gradual, em função da variação da umidade, portanto a determinação do limite de plasticidade precisa ser arbitrado, o que não diminui seu valor, uma vez que os resultados são índices comparativos. Dessa forma, torna-se muito importante a padronização do ensaio, sendo que, no Brasil, este é realizado pelo método da norma NBR 7180/1984. Os ensaios de plasticidade são realizados somente com a parte fina do solo, representada pelo material que passa na peneira de abertura 0,42 mm (TRENTER, 2001).

$$\text{LP} = \frac{\text{Somatório umidades da amostras (w)}}{\text{Quantidade de amostras}}$$

Figura 57 - Ensaio de Laboratório de Limite de Plasticidade

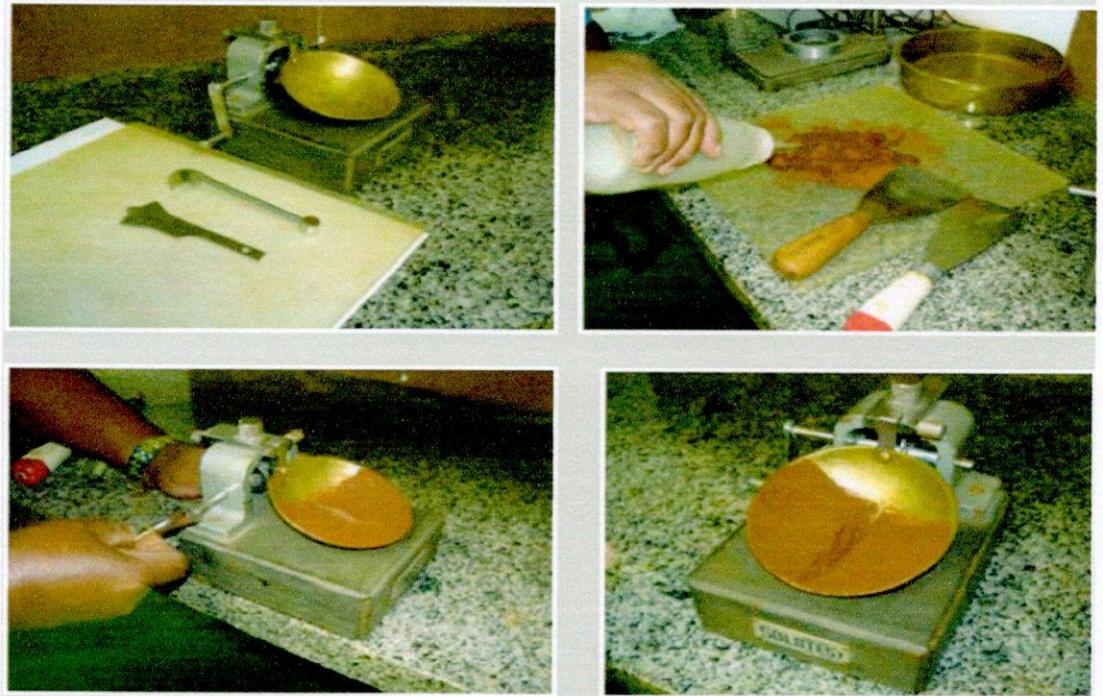


Fonte: Laboratório Empresa Contratada

O limite de liquidez (LL) é o teor em água acima do qual o solo adquire o comportamento de um líquido. É usualmente determinado pelo aparelho de Casagrande. Este é constituído por uma concha metálica unida a uma manivela que a move, fazendo-a cair sobre uma base sólida um certo número de vezes, até o fechamento de 1 cm da ranhura padrão, feita previamente no solo colocado na concha. O limite de liquidez corresponde ao

teor de umidade em que a ranhura se fecha com 25 golpes. A padronização do ensaio, no Brasil, é realizado pelo método estabelecido pela NBR 6459/1984.

Figura 58 - Ensaio de Laboratório de Limite de Liquidez (Aparelho Casa Grande)



Fonte: Laboratório da Empresa Contratada.

Conhecidos o Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, tem-se, então, o Índice de Plasticidade (IP):

$$IP = LL - LP$$

É expresso em porcentagem e pode ser interpretado, em função da massa de uma amostra, como a quantidade máxima de água que pode lhe ser adicionada, a partir de seu Limite de plasticidade, de modo que o solo mantenha a sua consistência plástica.

3.4.2.5.2.4 Compactações no Campo

De acordo com BASTOS (2011), a compactação no campo pode ser aplicada de três formas:

- Por pressão Estática: aplicada por meio de rolos compactadores estáticos, em ocorrem inicialmente deformações plásticas; à medida que o solo vai densificando, predominam deformações elásticas;

- Por Vibração: aplicada por meio de rolos e compactadores vibratórios, produz o deslocamento de sucessivas e rápidas ondas de pressão que movimentam as partículas e reduzem o atrito entre elas;
- Por impacto: aplicada por apiloadores e cargas de impacto, gera uma onda de pressão que atua em grande profundidade.

3.4.2.5.2.4.1 Equipamentos de compactação

Bastos (2011) descreve alguns modelos de rolos compactadores:

- Rolo Compactador Liso: Rolo compactador de tambor de aço através do qual se aplica carga ao solo. O tambor pode estar vazio ou cheio com água, areia ou pó de pedra, aumentando a energia de compactação. Também encontrasse com tambor vibratório, onde o Rolo dotado de uma massa móvel com excentricidade em relação ao eixo, provocando vibrações de certa frequência entre 1000 a 4800 ciclos por minuto. Ajustam-se as vibrações para que entrem em ressonância com as partículas de solo. Apresentam maior rendimento a baixas velocidades. Utilizado na compactação de pedregulhos, areias e pedra britada em camadas ≤ 15 cm.

Figura 59 - Rolo Compactador Liso

Rolo liso



Fonte: o autor

- Rolo pneumático: Plataforma apoiada em eixos com pneus, o número de pneus por eixo é variável de 3 a 6, mantendo-se um alinhamento desencontrado para melhor cobertura. A pressão de contato é função da pressão interna dos pneus. Empregado para quase todos tipos de solos, especialmente para solos arenosos finos em camada de até 40 cm.

Figura60 - Rolo Compactador Pneus

Rolo de Pneus



Fonte: o autor

- **Rolo Pé de Carneiro:** consiste de tambor de aço onde são solidarizadas saliências(patas) dispostas em fileiras desencontradas entre 90 a 120 por rolo. O rolo dotado de uma massa móvel com excentricidade em relação ao eixo, provocando vibrações de certa frequência entre 1000 a 4800 ciclos por minuto. Ajustam-se as vibrações para que entrem em ressonância com as partículas de solo. Apresentam maior rendimento a baixas velocidades. O pisoteamento propicia o entrosamento entre as camadas compactadas. À medida que vai aumentando a compactação, há menor penetração, resultando maior a pressão do contato. Empregado na compactação de solos coesivos com argilas e siltes, em camadas de 10 a 20 cm.

Figura 61- Rolo Compactador Pé de CARneiro

Rolo pé de carneiro



Fonte: o autor

3.4.2.5.2.4.2 Controle de Compactação

- **Determinação do teor de umidade pelo Método da Frigideira** Método bastante empregado que consiste em “fritar” o solo. Uma pequena porção de solo úmido é colocada em uma frigideira que, por sua vez, é colocada sobre uma fonte de calor; vai-se revolvendo a amostra suavemente até a água se evapora. Para certificar-se de que a água se evaporou, coloca-se uma placa de vidro sobre a frigideira e observa-se se existe vapor se formando na placa; caso contrário, a amostra está seca.
- **Método do Frasco de Funil-Areia**

Segundo a FATEC-SP, compõe esse equipamento um reservatório de plástico com capacidade de 5 litros munido de uma válvula com um cone na extremidade, e uma bandeja quadrada com um furo no centro de diâmetro igual ao bocal do funil. O material utilizado é uma areia de densidade conhecida (γ areia).

É o método mais empregado no controle de densidade de campo.

Basicamente, o procedimento consiste em abrir um furo na superfície da camada ser controlada, tomando-se o cuidado de medir a massa do material escavado. Assim, tem-se a massa do furo. Para a determinação do volume do furo, utiliza-se o recurso da areia. Verte-se areia dentro do furo de maneira a completá-lo. Conhecendo-se a massa de areia suficiente para preencher o furo e, a partir da densidade conhecida da areia, tem-se o volume do furo.

A operação do ensaio consiste em assentar a bandeja sobre a superfície do terreno. Escava-se um furo de diâmetro igual ao furo da bandeja até profundidade de 10cm 15cm, conforme espessura da camada. Mede-se a massa escavada (M_{su}). Em seguida, mede-se a massa inicial do frasco com areia (M_{if}), o frasco é colocado sobre a bandeja de maneira que o funil se encaixe no furo da bandeja, o registro é aberto, a areia vai fluir para dentro do furo até que o fluxo de areia estabilize; em seguida, o registro é fechado. Mede-se a massa do frasco (M_{ff}).

Observe-se o volume do cone deve ser considerado, o qual pode ser determinado sobre uma superfície lisa. (M_c). Para a determinação da massa de areia do furo, tem-se :

$$M_{af}: M_{af} = M_{if} - M_{ff} - M_c$$

Para a determinação do volume do furo, tem-se :

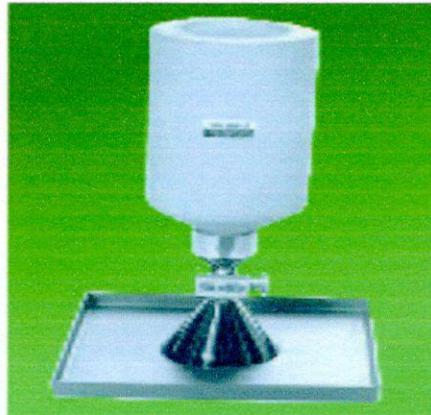
$$V_f = M_{af} / \gamma_{\text{areia}}$$

Por fim, a densidade úmida de campo será a massa úmida do furo (M_{uf}) dividido pelo (V_f). Com o teor de umidade obtido com algum procedimento anteriormente descrito, tem-se a densidade seca (γ_{campo}) da camada compactada:

$$\gamma_{\text{seca}} = M_{uf} / V_f * F_c, \text{ onde } F_c = \text{fator de conversão} = 100/(100 + w)$$

Figura 62-Frasco de Areia

$$P_{\text{areia}} / \gamma_s = V_{\text{buraco}}$$



Fonte: google

3.4.2.5.2.4.3 Grau de Compactação

Representa a porcentagem do peso específico aparente seco máximo que foi obtido no campo:

$$GC = \frac{Y_d(\text{campo})}{Y_{d\text{máx}}(\text{laboratório})} \cdot 100$$

Especificação de construção (Vargas, pág. 60/66), as exigências de especificação variam conforme o tipo de obra e exigência de órgão contratante.

Normalmente, tem-se, para camadas de aterro de barragens de terra:

$GC \geq 95\%$ do proctor normal;

Umidade(ω) $\pm 2\%$ em torno da ótima.

4 MATERIAL

Este estudo foi realizado utilizando-se livros técnicos, catálogos e apostilas, dos quais foram obtidos os conceitos básicos que norteiam o tema, com discussões com profissionais do segmento, levantando-se pontos críticos e agravantes deste tipo de obra.

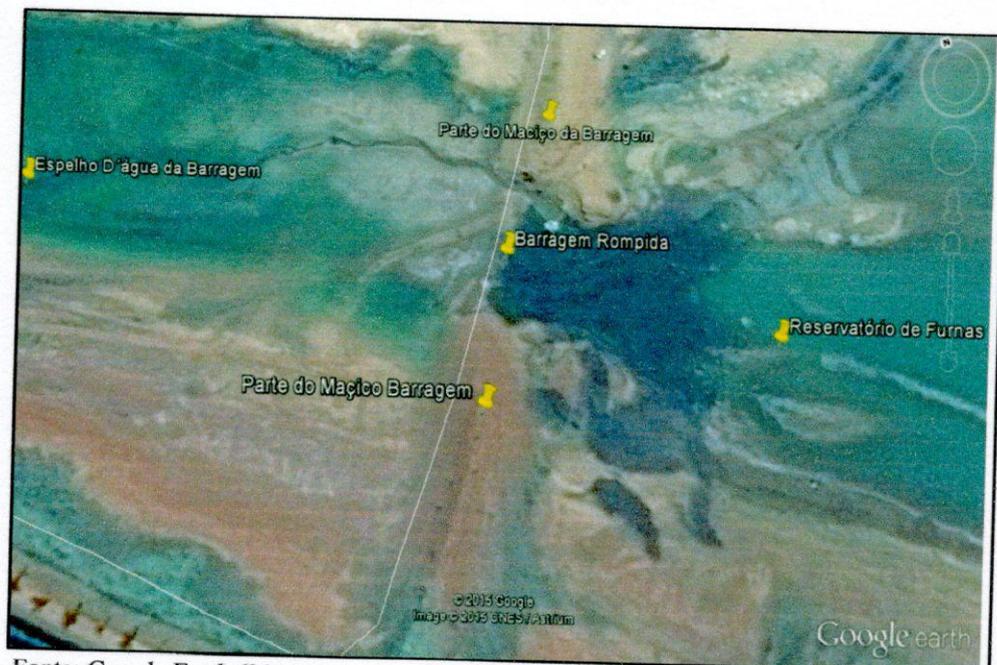
Figura 63 – Barragem de terra rompida na propriedade rural.



Fonte: o Autor.

A Empresa foi contratada a fim de apresentar soluções para o problema, ou seja, detectar as razões pelas quais a barragem se rompeu e a construção de uma nova barragem.

Figura 64 – Vista superior da barragem de terra rompida



Fonte: Google Earth (2015)

Em visita a campo até o local da barragem de estudo, constataram-se divergências de técnicas utilizadas na construção, conforme recomenda a literatura abordada.

4.1 Aspectos legais

O cliente, justificando a construção da barragem, relatou que, como o reservatório de Furnas apresentava seu volume muito reduzido, não mais banhando suas terras, optou por construir este barramento, onde iria reservar a água para sua irrigação e posterior deságue no reservatório de Furnas. Preocupado com questões ambientais e legais para construção, contratou responsável técnico ambiental na época da construção da barragem rompida, para que administrasse as questões de documentação da barragem. Houve a autorização dos direitos de uso de recursos hídricos, outorga do canal abastecedor para fins de uso de irrigação (ANA, 2005).

Vale destacar que a barragem encontra-se no final do canal abastecedor, desaguando no reservatório de Furnas. Isso facilitou muito seu pedido e autorização de uso do direito d'água e devidas licenças necessárias.

Não se obteve autorização para acrescentar o documento de outorga ao estudo.

4.2 Medição de vazão do curso d'água

O cliente não tinha conhecimento da vazão do curso d'água onde fora construída a barragem de terra.

Para tanto, usou-se o método do flutuador, com as seguintes ferramentas:

- Trena de fita ;
- Cronômetro Digital;
- Régua ;
- Corda;
- Estacas de madeira;
- Recipiente com tampa, com $\frac{3}{4}$ de água.

4.3 Volume de Água Represada da Barragem

O cliente não realizou cálculo de volume em que a barragem iria represar. Para tanto, realizou-se um estudo topográfico da área, sendo:

- Equipe topográfica com estação total;
- Caso particular da barragem em que sua jusante é reservatório de FURNAS, onde:

Tabela7 -Dados referente ao reservatório de FURNAS.

RESERVATÓRIO DE FURNAS	COTA (m)	ÁREA (km ²)	VOL. (hm ³)
Mínimo Operacional	750	530	5.733
Máximo Operacional	768	1.442	22.950
Área de Drenagem	-	52.138	-
Volume Útil	-	-	17.217

Fonte: (ANA,2005)

4.4 Escolha do local para Construção

Figura 65 – Vista superior da barragem de terra com estimativa do espelho d'água.



Fonte: (Google Earth, 2015)

4.5 Tipo, Forma e Dimensões do maciço de terra existente:

Barragem do tipo Heterogenia;

Forma da Barragem retilinea trapezoidal;

Comprimento longitudinal: 170 metros (ombreira a ombreira);

Altura: 6 metros;

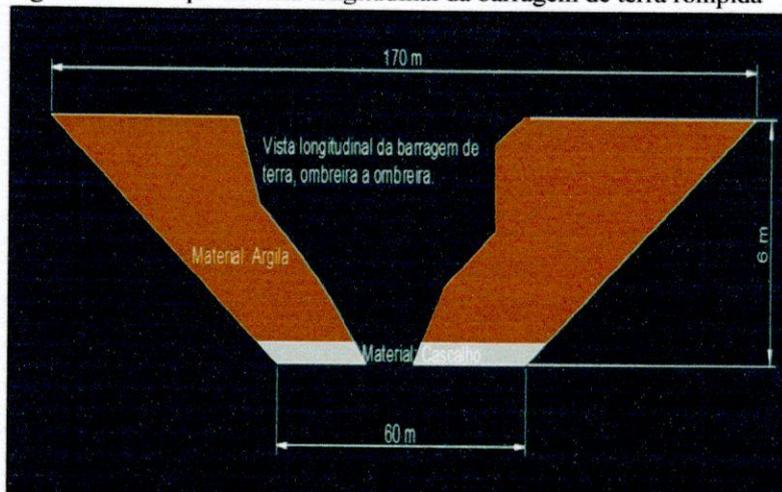
Largura de crista: 2 metros;

Largura da base: 20 metros;

Núcleo impermeável: não existente;

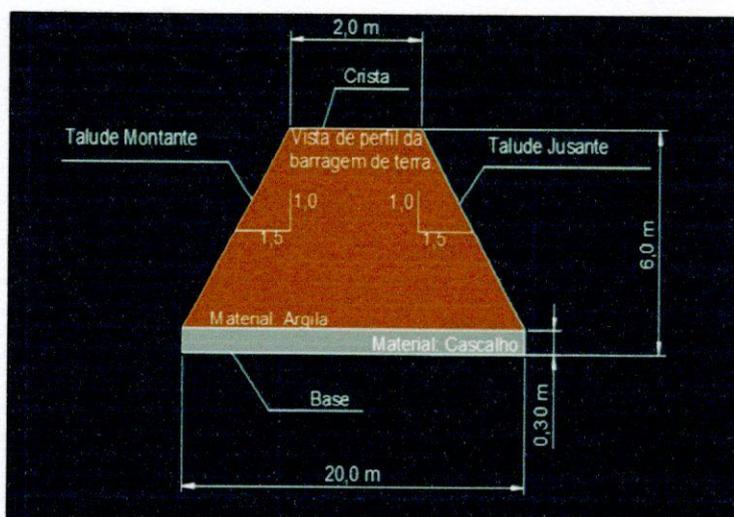
Extravasador: sem dimensões uniformes, apenas um canal.

Figura 66 – Croqui da vista longitudinal da barragem de terra rompida



Fonte: o autor

Figura 67 – Croqui da vista em perfil da barragem de terra rompida.



Fonte: o autor

4.6 Material da Construção do Aterro da Barragem

Não foi realizado nenhum ensaio.

De conhecimento disso, realizada a retirada de amostras de material da área de futuro alagamento da barragem e encaminhamos para laboratório para obter conhecimento de suas características físicas. Dados Laboratório contratado:

Granulometria: 48% argila, 32% silte e 20% areia media grossa;

Peso Especifico γ_d : 14,4KN/m³;

Teor de Umidade(ω): 19,1%

Índice Plasticidade: 24%;

Proctor normal;

Peso Especifico $\gamma_{dm\acute{a}x}$: 15,8 KN/m³;

Umidade(ω)ótima: 22,4%, variação +/- 3%;

Grau de Compactação definido 95% proctor normal.

4.7 Extravasar D'água

De conhecimento da longitude e da latitude do curso d'água onde foi construída a barragem de terra, pesquisaram-se no *software* HIDROTEC, os seguintes dados hidrológicos do curso d'água:

Área de contribuição do canal: 4,31 km²;

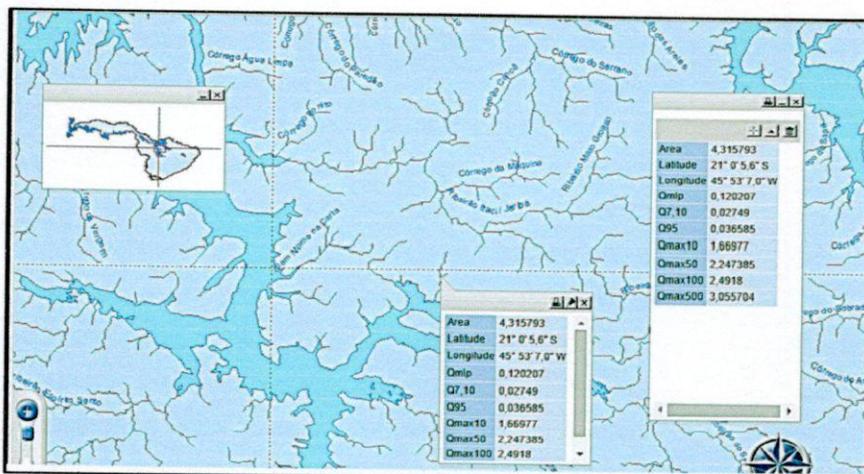
Vazão máxima com tempo de retorno de 10 anos($Q_{max\ 10}$): 1,669m³/s;

Vazão máxima com tempo de retorno de 50 anos($Q_{max\ 50}$): 2,247m³/s;

Vazão máxima com tempo de retorno de 100 anos($Q_{max\ 100}$): 2,491m³/s;

Vazão máxima com tempo de retorno de 500 anos($Q_{max\ 500}$): 3,055m³/s;

Figura 68– Dados hidrográficos do curso d'água em estudo



Fonte: *Software* HIDROTEC

De acordo com a referência bibliográfica, têm-se os seguintes dados:

Tabela8– Dados para cálculo do canal extravasor

Vazão de Cheia	Para período de retorno de 50 anos $Q_{\max 50} = 2,247 \text{ m}^3/\text{s}$	Para período de retorno de 100 anos $Q_{\max 100} = 2,491 \text{ m}^3/\text{s}$	Para período de retorno de 500 anos $Q_{\max 500} = 3,055 \text{ m}^3/\text{s}$
Valores do coeficiente de rugosidade (n) de Manning, tabela 3 da revisão bibliográfica, Canais de terra retilíneos e uniformes	n=0,025	n=0,025	n=0,025
Inclinação de taludes (z) de acordo com estabilidade de canais, tabela 4 da revisão bibliográfica, Argila dura.	0,75:1	0,75:1	0,75:1
Altura máxima projetada do canal extravasor (Hv)	1,5 m	1,5 m	1,5 m
Velocidade limite em função do material das paredes do canal, tabela 4 da revisão bibliográfica, Canal gramado.	1,3 m/s	1,3 m/s	1,3 m/s

Fonte: o autor

4.8 Orçamento para construção da Barragem

Para a formulação de orçamento de implantação da nova barragem, foi utilizado preço de referência do DNIT, base mês de janeiro/2015, com BDI de 26,70%.

Figura 69 - Planilha Sistemas de Custos – Limpeza de camada vegetal.

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários		Construção Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência		Minas Gerais		RCTR0320	
Mês: Janeiro / 2015		Produção da Equipe: 1444,0 m2		(Valores em R\$)	
2 S 01 000 00 - Desm. dest. limpeza áreas clarv. diam. até 0,15 m					
A - Equipamento		Quantidade	Utilização	Custo Operacional	Custo Horário
			Operativa Improdutiva	Operativo Improdutivo	
E003 - Trator de Esteiras - com lâmina (250 kW)	1,00	1,00	0,00	393,40	22,41
				Custo Horário de Equipamentos	393,41
B - Mão-de-Obra		Quantidade		Salário-Hora	Custo Horário
T501 - Encarregado de turma	0,50			29,12	14,56
T701 - Servente	2,00			9,78	19,58
				Custo Horário da Mão-de-Obra	34,14
				Ado.M.O. - Ferramentas (15,51 %)	5,29
				Custo Horário de Execução	432,84
				Custo Unitário de Execução	0,30
				Custo Unitário Direto Total	0,30
				Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)	0,08
				Preço Unitário Total	0,38

Observações: Especificação de serviço: DNER-ES-278.

Fonte: DNIT

Figura70 - Planilha Sistemas de Custos – Escavação, Transporte 200 a 400m material 1º categoria.

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários		Construção Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência		Minas Gerais		RCTR0320	
Mês: Janeiro / 2015		Produção da Equipe: 192,00 m3		(Valores em R\$)	
2 S 01 100 24 - Esc. carga transp. mat 1º cat DMT 400 a 600m cie					
A - Equipamento		Quantidade	Utilização	Custo Operacional	Custo Horário
			Operativa Improdutiva	Operativo Improdutivo	
E006 - Motoniveladora - (103 kW)	1,00	0,14	0,88	152,48	22,41
E062 - Escavadeira Hidráulica - com esteira (200 kW)	1,00	1,00	0,00	271,88	22,49
E432 - Caminhão Basculante - 40 t (294 kW)	4,00	0,83	0,17	201,80	18,23
				Custo Horário de Equipamentos	994,71
B - Mão-de-Obra		Quantidade		Salário-Hora	Custo Horário
T501 - Encarregado de turma	1,00			29,12	29,13
T701 - Servente	3,00			9,78	29,36
				Custo Horário da Mão-de-Obra	58,49
				Ado.M.O. - Ferramentas (15,51 %)	9,07
				Custo Horário de Execução	1.062,27
				Custo Unitário de Execução	5,53
				Custo Unitário Direto Total	5,53
				Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)	1,48
				Preço Unitário Total	7,01

Observações: Especificações de serviço: DNER-ES-280 E DNER-ES-281.

Fonte: DNIT

Figura71- Planilha Sistemas de Custos – Escavação solo mole, Transporte 200 a 400m.

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários		Construção Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência		Minas Gerais		RCTR0320	
Mês: Janeiro / 2015		Produção da Equipe: 38,00 m3		(Valores em R\$)	
2 S 01 300 02 - Esc. carga transp. solos moles DMT 200 a 400m					
A - Equipamento		Quantidade	Utilização	Custo Operacional	Custo Horário
			Operativa Improdutiva	Operativo Improdutivo	
E001 - Trator de Esteiras - com lâmina (87 kW)	1,00	0,42	0,58	126,27	22,41
E083 - Escavadeira Hidráulica - c/ est. - cap 0001 p/ longo alcance (103 kW)	1,00	1,00	0,00	198,42	22,49
E403 - Caminhão Basculante - 6 m3 - 10,5 t (175 kW)	3,00	0,84	0,16	118,38	18,23
				Custo Horário de Equipamentos	564,50
B - Mão-de-Obra		Quantidade		Salário-Hora	Custo Horário
T501 - Encarregado de turma	0,50			29,12	14,56
T701 - Servente	2,00			9,78	19,58
				Custo Horário da Mão-de-Obra	34,14
				Ado.M.O. - Ferramentas (15,51 %)	5,29
				Custo Horário de Execução	603,93
				Custo Unitário de Execução	15,89
				Custo Unitário Direto Total	15,89
				Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)	4,24
				Preço Unitário Total	20,14

Observações: Especificação de serviço: DNER-ES-280.

Fonte: DNIT

Figura72 -Planilha Sistemas de Custos – Compactação de aterros a 95% Proctor Normal.

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários		Construção Rodoviária			SICRO2	
Custo Unitário de Referência	Mês: Janeiro / 2015	Minas Gerais			RCTR0320	
2 S 01 510 00 - Compactação de aterros a 95% proctor normal		Produção da Equipe : 224,00 m3			(Valores em R\$)	
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		<i>Operativa</i>	<i>Improdutiva</i>	<i>Operativo Improdutivo</i>		
E008 - Motoniveladora - (103 kW)	1,00	0,41	0,59	152,48	22,41	75,75
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,89	0,31	75,27	18,81	57,15
E013 - Rolo Compactador - pé de carneiro autop. 11,25t vibrat (82 kW)	1,00	1,00	0,00	115,88	18,81	115,88
E101 - Grade de Discos - GA 24 x 24	1,00	0,89	0,31	2,77	0,00	1,92
E407 - Caminhão Tanque - 10.000 l (210 kW)	2,00	0,89	0,31	140,54	18,23	205,28
				Custo Horário de Equipamentos		455,75
B - Mão-de-Obra	Quantidade				Salário-Hora	Custo Horário
T501 - Encarregado de turma	1,00				29,12	29,13
T701 - Servente	2,00				9,78	19,58
					Custo Horário da Mão-de-Obra	
						48,70
					Ado.M.O. - Ferramentas (15,51 %)	7,55
					Custo Horário de Execução	512,01
					Custo Unitário de Execução	
						2,29
					Custo Unitário Direto Total	
						2,29
					Lucro e Despesas Indiretas (28,70 %)	
						0,61
					Preço Unitário Total	
						2,90

Observações : Especificação de serviço: DNER-ES-282.

Fonte: DNIT

4.9 Métodos

4.9.1 Medição de vazão do curso d'água

Demarcou-se uma seção longitudinal no canal de 10 metros, utilizando-setrena de fita e corda;

Mensurou-se com trena de fita a largura do canal a montante e na jusante da área demarcada;

Dividiu-se em três partes essa largura para mensurar a profundidade do canal com a régua, tanto na montante, quanto na jusante do curso d'água;

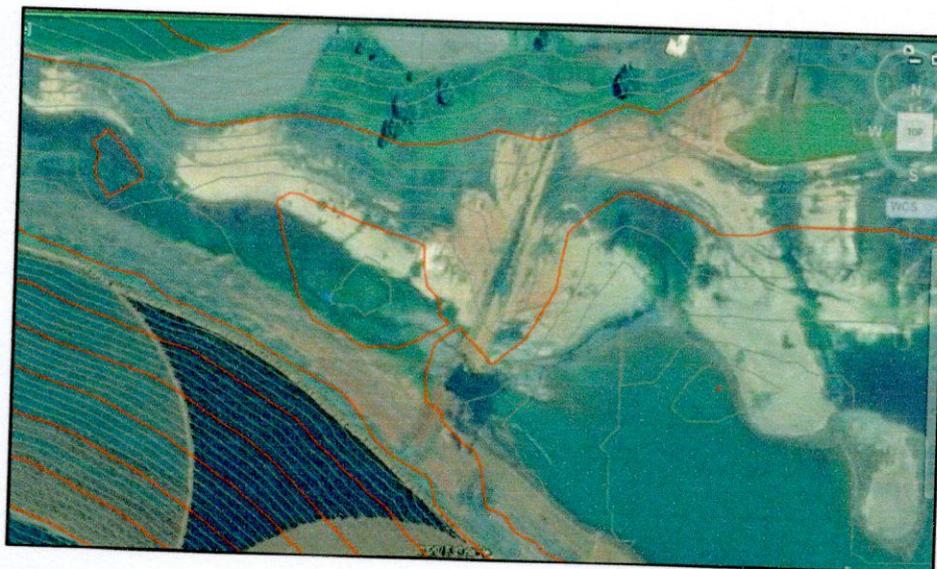
Lançou-se o recipiente com $\frac{3}{4}$ de água a aproximadamente 2 metros antes da linha montante da seção demarca; ao passar pela marcação, acionou-se o cronômetro; a passar pela jusante da área demarcada, interrompeu-se o cronômetro para se realizar a leitura em segundos. Repetiu-se este processo por três vezes;

Calculou-se, tempo médio, velocidade média, área média e vazão média do curso d'água em estudo.

4.9.2 Volume de Água Represada da Barragem

Foi realizado, com o auxílio da equipe de topografia, o planialtimétrico do local com curvas de níveis de metro em metro.

Figura73–Planialtimétrico com Curvas de nível do local.



Fonte: Equipe topográfica contratada

4.9.3 Maciço de terra da barragem

Como recomenda a literatura, para que esse maciço fosse construído com segurança e com estabilidade, dever-se-iam seguir os parâmetros:

- Escolha do local a ser construído;
- Análise das características do solo onde a barragem será assentada;
- Definição do tipo de barragem a ser construída;
- Altura da lâmina d'água a ser desejada de acordo com o volume pretendido;
- Cálculo da altura da barragem;
- Definição de inclinação de taludes de montante e jusante;
- Cálculo da largura de crista do maciço da barragem;
- Cálculo da largura base do maciço da barragem;
- Definição de necessidade de Núcleo impermeável. Por intermédio do método de soldagem do solo com barra de 3 metros, a cada dez em dez metros, no sentido

longitudinal onde barragem será construída, para se conhecer a profundidade do solo impermeável.

4.9.4 Extravador

De acordo com a literatura, para iniciar o dimensionamento do extravasor, tem-se que:

- Caracterizar o curso d'água que irá abastecer a represa;
- Calcular:

Área molhada do canal extravasor;

Base do canal extravasor;

Perímetro molhado do canal extravasor;

Raio hidráulico;

Declividade do canal extravasor.

4.9.5 Construção da nova Barragem de Terra

- Definir a área de empréstimo de material a ser utilizado na construção do maciço da barragem;
- Conhecer as características físicas do solo a ser utilizado para construção
Métodos utilizados no Laboratório contratado:
Granulometria: NBR 7181/1984;
Peso Específico: NBR 6508/1984;
Teor Umidade(ω): NBR 6787/1986;
Limite de Plasticidade: NBR 7180/1984;
Limite de Liquidez: NBR 6459/1984.
Umidade ótima(ω): NBR 7182/1986.
- Cálculo do volume de material a ser utilizado para a construção do aterro da barragem;
- Procedimentos de Construção da barragem;
- Controle tecnológico de compactação;
Método Frigideira;
Método Frasco de Areia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Medição de vazão do curso d'água

- Cálculo do tempo médio, obtido após as três leituras de tempo no intervalo de dez metros do curso d'água demarcado, do qual se extraiu:

1ª-2,85 segundos;

2ª-2,99 segundos;

3ª-2,72 segundos;

$$\text{Tempo médio obtido} = \frac{\text{Soma das Leituras}}{n^{\text{a}} \text{ leituras}} = \frac{2,85+2,99+2,72}{3} = 2,85 \text{ segundos.}$$

- Cálculo da Velocidade média:

$$\text{Velocidade média em 15/04/2015 do curso d'água} = \frac{\text{intervalo delimitado}}{\text{tempo médio}} = \frac{10\text{m}}{2,85\text{s}} = 3,50 \text{ m/s}$$

- Realizadas medições de profundidade do curso d'água a montante do intervalo e a jusante do intervalo, coletaram-se os seguintes dados:

Tabela9– Dados de leituras e cálculo da área média do curso d'água em estudo

Leituras de Profundidade curso d'água a Montante do intervalo	Leituras de Profundidade curso d'água a Jusante do intervalo
1ª -0,35 metros	1ª -0,33 metros
2ª - 0,40 metros	2ª - 0,38 metros
3ª - 0,33 metros	3ª - 0,30 metros
$\frac{\text{Área da Montante do intervalo} = \text{Soma das leituras}}{n^{\text{o}} \text{ de leituras} + 1} \times \text{largura do curso d'água}$	$\frac{\text{Área da Jusante do intervalo} = \text{Soma das leituras}}{n^{\text{o}} \text{ de leituras} + 1} \times \text{largura do curso d'água}$
$\frac{0,35 + 0,40 + 0,33}{3 + 1} \times 1,20\text{m} = 0,32\text{m}^2$	$\frac{0,33 + 0,38 + 0,30}{3 + 1} \times 1,54\text{m} = 0,39\text{m}^2$
$\text{Área média do intervalo} = \frac{\text{Área da Montante} + \text{Área da Jusante}}{2} = \frac{0,32 + 0,39}{2} = 0,36\text{m}^2$	

Fonte: o autor

- Realizado o cálculo da vazão média do curso d'água, em 15/04/2015, obtive-se :
Vazão média = Velocidade média x área média x Coeficiente correção ©;
Vazão média = 3,50 m/s x 0,36 m² x 0,7;

Vazão média = 0,88 m³/s.

5.2 Volume de água represada da barragem

De conhecimento do curso d'água que irá abastecer a barragem e curvas de níveis do terreno de metros em metros, calculou-se o volume da represa, conforme tabela a seguir:

Tabela10 – Dados das curvas de níveis do espelho d'água da represa e cálculo do volume represado

Curvas Níveis	Cota	Largura média da seção da curva em metros	Comprimento perpendicular da seção da curva com a barragem em metros	$Vn = \frac{Area\ Sn-1 + Area\ Sn}{2} \cdot h$
S1	763	60	330	-
S2	764	120	331	29760
S3	765	150	332	44760
S4	766	190	333	56535
S5	767	210	334	66705
S6	768	235	335	74432,5
Volume total da represa em (m ³)				272192,5

Fonte: o autor

5.3 Maciço de terra da barragem

O local de construção da barragem é espraçado, com abundância de material argiloso na área de futuro alagamento, contudo retiraram-se amostras de solo e se encaminharam a laboratório para futura definição de empréstimo para a construção.

O solo de assentamento da barragem é úmido, mas conhecido como brejo, turfa. O local é de fácil acesso, sendo recomendada barragem do tipo heterogênea com núcleo impermeável.

Tem-se como referência da altura da lâmina d'água:

Diferença de cota = 768 – 763 = 5 m;

Altura de enchente (Hv) = 1,5 m;

Altura de folga (Hf) = 0,50m;

Altura total barragem = 7,0 m.

Quanto aos taludes da barragem de terra, conforme figura 28, representada na revisão bibliográfica, tem-se :

Talude de montante com inclinação de 2,5:1;

Talude de Jusante também com inclinação de 2,5:1, (Obs. Por se tratar, neste estudo de caso, de reservatórios de ambos os lados sendo, a barragem de terra será montante do lado da represa sentido reservatório de Furnas emontante do reservatório de Furnas sentido represa.)

- Cálculo da largura de crista do maciço da barragem;

$$C = \frac{H}{5} + 3$$

Sendo assim, esta crista, para não existência de tráfego na mesma, deveria ter as seguintes dimensões:

$$C = \frac{7}{5} + 3 = 4,4 \text{ metros, arredondado para } 4,5 \text{ metros.}$$

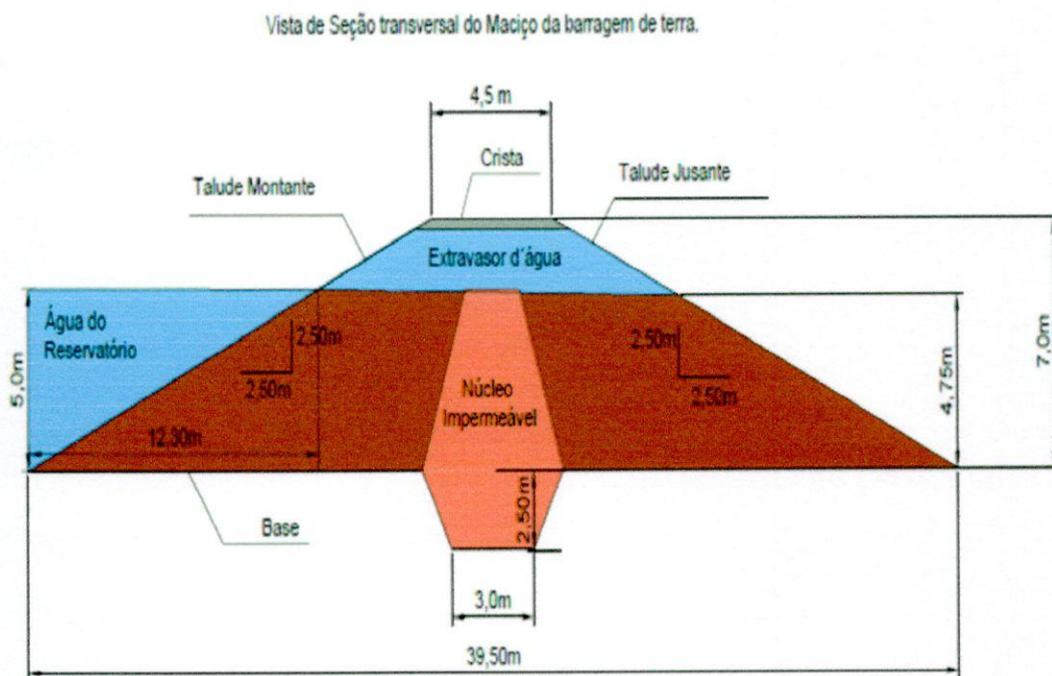
- Cálculo da largura base do maciço da barragem;

$$B = C + (Z_m + Z_j) \cdot H$$

$$B = 4,5 + (2,5 + 2,5) \cdot 7$$

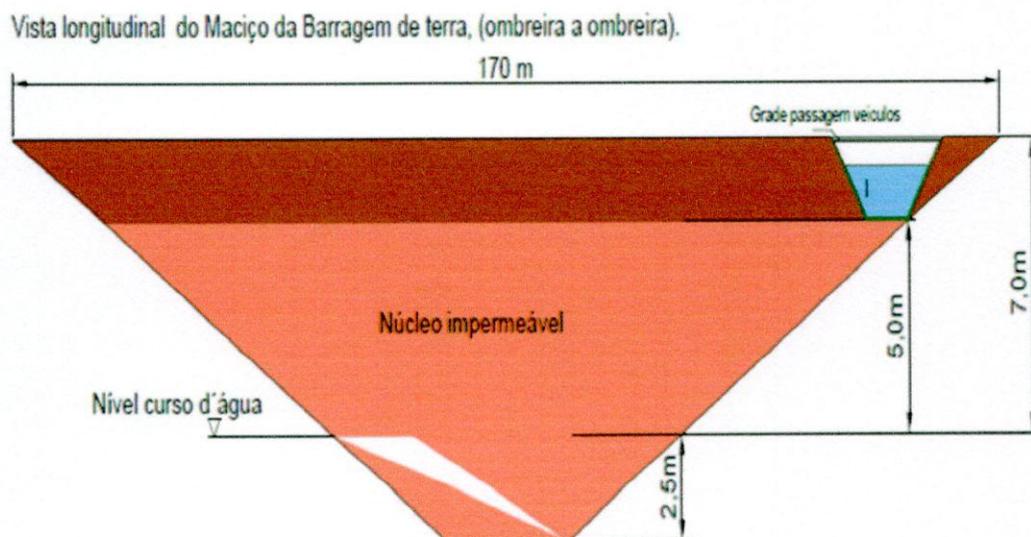
$$B = 39,5 \text{ metros}$$

Figura 74- Croqui Barragem de Terra a ser construída, vista de perfil.



Fonte: o autor

Figura 75- Croqui Barragem de Terra a ser construída, vista longitudinal.



Fonte: o autor

- Realizada a soldagem no terreno, na área rompida da construção da barragem, verificou-se que foi atingido solo impermeável a uma profundidade de 2,30m, adotado um núcleo de 2,5 metros de profundidade, representada na revisão bibliográfica.

Desarenador: A barragem não possuía desarenador, pois, como visto anteriormente, este caso, em especial, é de montante e de montante em ambos os lados, o que não justifica o uso de um desarenador, pois terá nível de água dos dois lados.

Tomada D'água: A barragem, por se tratar de represa para irrigação, não tem tomada d'água, pois os motores dos pivôs trabalham com seus tubos de captação afogados no reservatório da barragem.

Extravasar: Característica do curso d'água: o curso d'água de características perenes, pois, mesmo com o nível do reservatório de Furnas baixo o curso d'água que nele deságua, continuam de forma constante.

- Cálculo da Área molhada:

Considerando a velocidade máxima do canal em 1,3m/s, Q_{max} 500 anos, tem-se a equação:

$$Q \text{ (vazão)} = A \text{ (área)} \cdot V \text{ (velocidade)}$$

$$A = \frac{Q}{V} \Rightarrow A = \frac{3,055}{1,3} = 2,35 \text{m}^2$$

- Cálculo da base do canal extravasar:

Considerando a altura do canal (h) = 1,5m o talude de 0,75:1, tem-se a equação:

$$\text{Área molhada} = A = (b + z \cdot hv) \cdot hv$$

$$2,35 = (b + 0,75 \cdot 1,5) \cdot 1,5$$

$b = 0,441 \text{m}$, arredondado para 0,50m

- Cálculo da declividade do canal extravasar:

Para a declividade do canal, Raio Hidráulico, tem-se a equação:

$$\text{Perímetro Molhado} = P = b + 2hv\sqrt{1 + z^2} \Rightarrow$$

$$P = 0,50 + 2 \cdot 1,5\sqrt{1 + 0,75^2}$$

$$P = 4,25 \text{ m}$$

$$\text{Raio Hidráulico} = R = \frac{A}{P} \Rightarrow R = \frac{2,35}{4,25} = 0,55 \text{m}$$

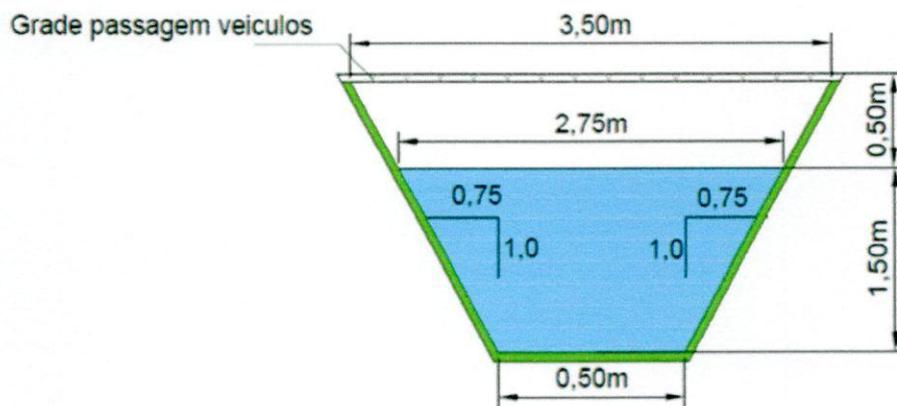
$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^2 \cdot I^1_2$$

$$3,055 = \frac{1}{0,025} \cdot 2,35 \cdot 0,55^2 \cdot I^1_2$$

$$I = 0,219 \text{ m, arredondado para } 0,25 \text{ m.}$$

Figura 76- Croqui do Extravasoar, Vista de seção Transversal.

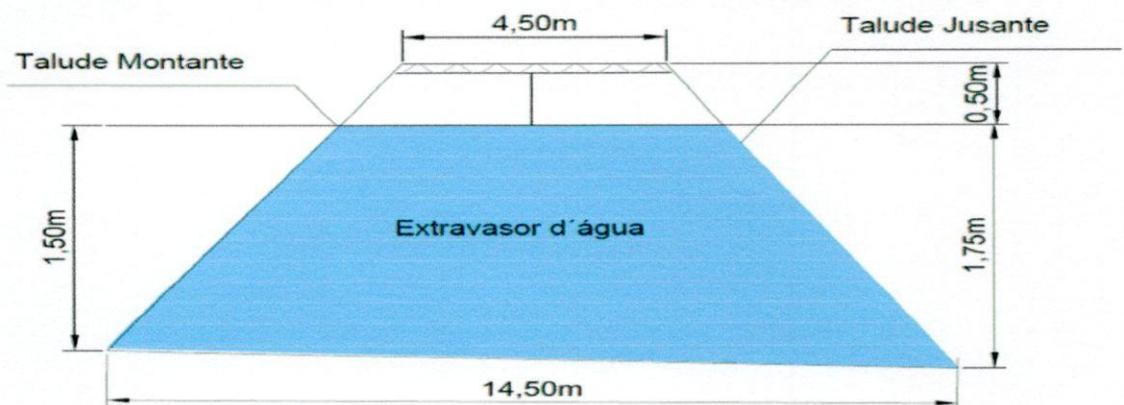
Vista de Seção transversal do Extravasoar d'água da barragem.



Fonte: o autor

Figura 77 - Croqui do Extravasoar, Vista seção Longitudinal.

Vista longitudinal do Extravasoar d'água da Barragem



Fonte: o autor

Volume de Escavação do extravasor D'água(V_e).

$$V_e = \frac{\text{Base maior} + \text{base menor} \times (H) \text{alturax comprimento}}{2}$$

2

$$V_e = \frac{3,50\text{m} + 0,50\text{m} \times 1,50 + 1,75 \text{ m} \times 4,50 + 14,50\text{m}}{2}$$

2 22

$$\text{Volume de escavação Extravasor}(V_e) = 86,65 \text{ m}^3$$

Volume total de escavação Extravasor: $V_e \times \text{Fator Contração}$

$$\text{Volume total de corte: } 86,65 \times 1,12 = 95,92\text{m}^3$$

5.4 Construção da nova Barragem de Terra

Optou-se por construir uma nova barragem na propriedade a poucos metros da montante da barragem rompida, por razões de menor custo.

Definiu-se que o solo a ser utilizado para a construção do aterro da barragem seria retirado da área de futuro alagamento por se tratar, a olhos nus, de solo com boas características físicas para construção.

Retirada amostra de solo do futuro local a ser alagado pelo reservatório e enviada para laboratório, obtiveram-se as seguintes características do solo:

Granulometria: 48% argila, 32% silte e 20% areia média grossa;

Peso Específico γ_d : 14,4 kN/m³;

Teor de Umidade (ω): 19,1%

Índice de Plasticidade: 24%;

Proctor normal;

Peso Específico $\gamma_{d\text{máx}}$: 15,8 kN/m³;

Fator de Empolamento do solo: 40%

Fator de Contração do solo: 0,88%

Umidade (ω) ótima: 22,4%;

Grau de Compactação definido 95% proctor normal.

De conhecimento das características do solo a ser utilizado, calculou-se o volume necessário para a construção do aterro da barragem.

O comprimento do aterro foi definido em planta topográfica, sendo as distâncias entre as ombreiras do local escolhido para a implantação da barragem. A forma da

barragem é retilínea trapezoidal, cuja altura de 7 (sete) metros foi determinada pela cota altimétrica 768m mais alturas de ondas e segurança/folga; sua base maior (inferior) com medidas de 39,5m largura por 170m de comprimento; base menor (superior) com 4,5m de largura por 170m de comprimento, servindo de estrada e taludes de montante e de jusante na inclinação de 2,5m para cada metro de altura, com núcleo em seu interior impermeável de largura média em seção transversal de 3m, altura de 5m.

A)- Volume do maciço (V_m)

$$V_m = \frac{\text{Base maior} + \text{base menor}}{2} \times (H) \text{ altura} \times \text{comprimento}$$

2

$$\text{Volume do Maciço} = \frac{39,50\text{m} + 4,50\text{m}}{2} \times 7,0 \text{ m} \times 170\text{m}$$

2

$$\text{Volume do Maciço} = 26.180 \text{ m}^3$$

B)- Volume inferior do Núcleo Impermeável Barragem (V_{ni})

$$V_{ni} = \frac{\text{Base maior} + \text{base menor}}{2} \times (H) \text{ altura} \times \text{comprimento}$$

2

$$V_{ni} = \frac{8,0\text{m} + 3,0\text{m}}{2} \times 2,5\text{m} \times 170\text{m}$$

2

$$V_{ni} = 2.337,50 \text{ m}^3$$

C)- Volume total aterro necessário para a construção do aterro do Maciço (V_{tn})

$$V_{tn} = V_m + V_{ni}$$

$$V_{tn} = 26180 + 2337,50 = 28.517,50 \text{ m}^3$$

Contudo, utilizando os fatores de empolamento e contração, têm-se :

Volume total de corte: $V_{tn} \times \text{Fator Contração}$

$$\text{Volume total de corte: } 28.517,50 \times 1,12 = 31.939,50 \text{ m}^3$$

Procedimentos para a construção do aterro da barragem de terra

Definiram-se os Equipamentos para a construção;

01 Motoniveladora;

- 01 Trator de Esteira;
- 01 Caminhão Pipa;
- 01 Rolo Compactador vibratório Pé de Carneiro;
- 02 Caminhões caçamba 12m³;
- 03 Tratores pneu com motoscrapers;
- 01 Escavadeira Hidráulica;
- 01 Trator de Pneu com grade aradora.

Inicialmente, foi feita a limpeza a remoção de toda a matéria orgânica encontrada na área destinada à construção e na área de escavação do material de empréstimo.

Figura 78 - Limpeza da camada vegetal do local de construção da barragem



Fonte: o autor

Após realizada a limpeza da área, foram realizados dois aterros sobre a camada de solo mole, paralelos, com uma distância de 4,0 metros entre eles, lançando duas camadas de solo de aproximadamente 0,25m de espessura e compactado com rolo compactador sem vibração em cada camada, com 39,50m de largura e aproximadamente 60m de comprimento, vencendo todo o comprimento do solo mole. Figura 75.

Figura 79 - Aterro de suporte sobre solo mole.



Fonte: o Autor

Após realizados esses aterros suportes, realizou-se o estaqueamento, certificando-se de onde seria assentado o aterro da barragem e demarcando a largura do núcleo.

Figura 80 - Aterro de suporte sobre solo mole e estaqueamento da barragem de terra.



Fonte: o Autor

Estaqueado o núcleo, foi aberta a vala de fundação de aproximadamente 2,5 metros de profundidade e de forma trapezoidal a parte inferior por 3,0 metros de largura e superior aproximadamente 4,5m de largura, com 39,5 metros de comprimento.

Figura81 - Escavação da Fundação do Núcleo Impermeável



Fonte: o autor

Após a escavação do núcleo, iniciou-se o aterro do núcleo até atingir a altura dos aterros suportes, sendo realizados lançamentos de camadas de terra de 0,20m de espessura com tratores com *scrappers*, homogeneizada a camada com trator de grade para quebra de torrões, com a pulverização de água com caminhão pipa para acerto de umidade, regularizada a camada com motoniveladora e compactado com rolo compactador vibratório pé de carneiro.

A escavação e o transporte do material (terra) para a construção foram feitos com auxílio de Escavadeira hidráulica, de trator de pneu com "Scrapers" e de caminhão basculante.

Figura82 - Construção do aterro do núcleo impermeável



Fonte: o autor

Após construído o núcleo impermeável, unificaram-se os aterros suportes com o núcleo, vindo então a lançar camadas de 0,25m de espessura em toda a largura do aterro da barragem, até atingir a altura de projeto. Utilizou-se o mesmo procedimento de lançamento de camadas de material, de homogeneização do material, de pulverização com água, de certificação da umidade e de compactação.

Figura 83 - Construção do aterro da barragem de terra



Fonte: o autor

A cada metro de altura de camada de material lançado no aterro, foi realizado o controle de compactação, no qual se utilizou o método da frigideira, conferindo a umidade do material e com método do frasco de areia o peso específico, chegando ao resultado do proctor de projeto, sendo:

Tabela 11 - Controle de Umidade - Método da Frigideira

Controle de Umidade - Método da Frigideira								
Cota aterro (m)	Altura aterro (m)	Posição furo	Massa solo úmido (M _{su}) em(g)	Massa solo seco (g)	Massa água (M _a) em(g)	Umidade (ω) (M _a /M _{su})* 100	Umidade ótima (ω) Laboratório	Variação aceita de projeto +/- 3% da Umidade ótima (ω)
764	Núcleo impermeável	Centro	132,88	102,52	30,36	22,8%	22,4%	Ok
765	Núcleo impermeável	Centro	127,02	99,06	27,96	22,0%	22,4%	Ok
766	3	Centro	168,52	130,5	38,02	22,6%	22,4%	Ok
		Bordo esquerdo	165,25	127,95	37,3	22,6%	22,4%	Ok
		Bordo Direito	162,9	127,38	35,52	21,8%	22,4%	Ok
767	4	Centro	145,9	112,58	33,32	22,8%	22,4%	Ok
		Bordo esquerdo	141,59	110,08	31,51	22,3%	22,4%	Ok
		Bordo Direito	141,98	110,58	31,4	22,1%	22,4%	Ok
768	5	Centro	183,4	142,5	40,9	22,3%	22,4%	Ok
		Bordo esquerdo	177,2	138,59	38,61	21,8%	22,4%	Ok
		Bordo Direito	189,5	146,25	43,25	22,8%	22,4%	Ok
769	6	Centro	190,77	147,25	43,52	22,8%	22,4%	Ok
		Bordo esquerdo	185,27	143,95	41,32	22,3%	22,4%	Ok
		Bordo Direito	188,2	145,05	43,15	22,9%	22,4%	Ok
770	7	Centro	132,25	101,87	30,38	23,0%	22,4%	Ok
		Bordo esquerdo	129,75	100,95	28,8	22,2%	22,4%	Ok
		Bordo Direito	128,15	98,79	29,36	22,9%	22,4%	Ok

Tabela 12 - Controle de Compactação - Método do Frasco Funil de Areia

Controle de Compactação - Método do Frasco Funil de Areia									
Y areia= 1,585 g/cm ³				Mcone(Mc) 785,45 g			Ylaboratório 1,57 g/cm ³		
Cota aterro (m)	Altura aterro (m)	Posição furo	Massa úmida do furo (Muf) em (g)	Massa do Funil (g)		Massa do furo (Mf) em (g)	Volume do Furo (vf) em (cm ³)	Peso Específico Aparente Seco (Ycampo) (g/cm ³)	Grau de Compactação (%) adotado CG >= 95%
				Massa inicial (Mi)	Massa final (Mf)				
764	Núcleo Impermeável	centro	1985,50	4354,00	1672,80	1895,75	1196,06	1,66	106%
765	Núcleo Impermeável	centro	1944,20	4355,60	1673,20	1896,95	1196,81	1,62	103%
766	3	centro	1925,00	4315,30	1674,80	1855,05	1170,38	1,64	105%
		Bordo esquerdo	1982,75	4444,76	1725,04	1934,27	1220,36	1,62	103%
		Bordo Direito	2042,23	4578,10	1776,80	2015,86	1271,83	1,61	102%
767	4	centro	1945,60	4339,30	1675,90	1877,95	1184,83	1,64	105%
		Bordo esquerdo	2042,88	4556,27	1759,70	2011,12	1268,85	1,61	103%
		Bordo Direito	2145,02	4784,08	1847,68	2150,95	1357,07	1,58	101%
768	5	centro	1888,20	4287,98	1676,10	1826,43	1152,32	1,64	104%
		Bordo esquerdo	2077,02	4716,78	1843,71	2087,62	1317,11	1,58	100%
		Bordo Direito	2284,72	5188,46	2028,08	2374,92	1498,38	1,52	97%
769	6	centro	1745,90	4135,30	1677,60	1672,25	1055,05	1,65	105%
		Bordo esquerdo	1833,20	4342,07	1761,48	1795,14	1132,58	1,62	103%
		Bordo Direito	2016,51	4559,17	1849,55	1924,16	1213,98	1,66	106%
770	7	centro	1879,30	4250,00	1678,50	1786,05	1126,85	1,67	106%
		Bordo esquerdo	1973,27	4462,50	1762,43	1914,63	1207,97	1,63	104%
		Bordo Direito	2170,59	4908,75	1938,67	2184,63	1378,32	1,57	100%

Após realizada a construção do aterro, foi escavado o extravasor d'água conforme dimensionado.

O plantio de vegetação nos taludes para a proteção ficou a cargo do proprietário.

Orçamento da Obra:

Para realizar o orçamento da obra, utilizou-se como parâmetro planilha de custos de referência do DNIT e preços propostos pela empresa contratada pelos serviços. Obteve-se:

Tabela 13 - Construção de Barragem de Terra -Propriedade Rural de Ilicínea-MG

PLANILHA		ITEM: Terraplanagem					
Obra: Construção de Barragem de Terra -Propriedade Rural de Ilicínea-MG							
ITEM	DESCRIÇÃO	UND	QTD	PREÇO UNITÁRIO (R\$)			PREÇO TOTAL (R\$)
				MATERIAL	SERVIÇO	TOTAL PARCIAL	
1	Topografia (170m x 39,5m)	m ²	6715,00		R\$0,60	R\$0,60	R\$4.029,00
2	Laboratório	vb	1,00		R\$2.500,00		R\$2.500,00
3	Mobilização e Desmobilização de Equipamentos	Km	230,00		R\$6,00	R\$6,00	R\$1.380,00
4	Limpeza de camada vegetal da área	m ²	6715,00		R\$0,38	R\$0,38	R\$2.551,70
5	Escavação e transporte DMT até 400m da área de empréstimo	m ³	31939,50		R\$7,01	R\$7,01	R\$223.895,90
6	Escavação e transporte de solo mole DMT até 400m (núcleo da barragem)	m ³	2337,50		R\$3,80	R\$3,80	R\$8.882,50
7	Aterro compactado 95% proctor normal	m ³	28517,50		R\$2,90	R\$2,90	R\$82.700,75
8	Escavação Extravasador D'água e transportes DMT 400m	m ³	95,92		R\$7,01	R\$7,01	R\$672,40
9	Pontilhão em aço para passagem sobre Extravasador 4,50 x 3,50m	m ²	15,75		R\$67,85	R\$67,85	R\$1.068,64
TOTAL						R\$332.655,74	

Tabela 14 -Cronograma Físico-Financeiro da obra

CRONOGRAMA FÍSICO/FINANCEIRO							
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	VALOR	1º Semana	2º Semana	3º Semana	4º Semana	5º Semana
1	Topografia (170m x 39,5m)	R\$ 10.072,50	R\$ 2.518,13	R\$ 2.518,13	R\$ 2.518,13	R\$ 2.518,13	
2	Laboratório	R\$ 2.500,00	R\$ 1.250,00	416,67	416,67	416,67	
3	Mobilização e Desmobilização de	R\$ 1.380,00	R\$ 690,00				R\$ 690,00
4	Limpeza camada vegetal da area	R\$ 2.551,70	R\$ 2.551,70				
5	Escavação e transporte DMT até 600m área de emprestimo	R\$ 223.895,90	37.315,98	62.193,30	62.193,30	62.193,30	
6	Escavação e transporte de solo mole DMT até 600m (nucleo da barragem)	R\$ 8.882,50	8.882,50				
7	Aterro compactado 95% proctor normal	R\$ 82.700,75	13.783,46	22.972,43	22.972,43	22.972,43	
8	Escavação Extravasor D'água e transportes DMT 400m	R\$ 672,40				672,40	
9	Pontilhão em aço para passagem sobre Extravasor 4,50 x 3,50m	R\$ 1.068,64				1.068,64	
	TOTAIS	R\$ 333.724,38	R\$ 66.991,77	R\$ 88.100,53	R\$ 88.100,53	R\$ 89.841,56	R\$ 690,00
3.0	% DO ITEM		20,07%	26,40%	26,40%	26,92%	0,21%
4.0	TOTAL ACUMULADO		66.991,77	155.092,29	243.192,82	333.034,38	333.724,38
5.0	% ACUMULADA		20,07%	46,47%	72,87%	99,79%	100,00%

Realizados os cálculos e analisados os parâmetros e as técnicas sugeridas na revisão bibliográfica, pode-se dizer que, na escolha do local, o proprietário foi bem feliz, pois o local é bem espraiado, possui topografia suave, abundância de material argiloso, não incidência de áreas de preservação permanente, pois a área é de cultivo de café e soja aos redores da barragem. Com relação ao maciço da barragem, não se levou em consideração nenhuma técnica e parâmetros para a construção. Alargura de base e de crista foram muito inferiores ao necessário; a inclinação dos taludes muito elevada; falta de núcleo impermeável, tornando a barragem totalmente instável, certamente com infiltrações sobre o maciço, conforme demonstrado na figura 36. Não havia necessidade de desarenador e de tomada d'água devido ao fato de a barragem estar banhada de água em ambos os lados. O extravasor não foi realizado, assim como nenhum estudo hidrológico, sem sequer serem conhecidas as medidas do canal extravasor, também podendo se concluir que o mesmo não foi suficiente para extravasar o excesso de água da represa, vindo a verter no maciço. Com todas essas negligências, acarretou-se o rompimento da barragem. Por sorte do proprietário, o volume reservado da represa após o rompimento foi desaguado no reservatório de Furnas, não trazendo maiores prejuízos financeiros e ou mortes a vizinhos e à fauna.

Contudo, realizou-se uma nova construção da barragem a poucos metros da montante da barragem rompida, visando menor custo, pois, caso se realizasse no mesmo local, haveria

uma maior volume de escavação de material, pois existiria a necessidade de se retirar todo o material do aterro rompido para a realização do novo aterro.

Realizou-se o dimensionamento do novo aterro do maciço da barragem, utilizando-se as técnicas adequadas, a partir do estudo do solo onde este foi assentado e das características físicas do solo de empréstimo para sua realização. .

Usou-se de parâmetros de construção recomendado com controles tecnológicos de compactação para se certificar da qualidade do aterro.

Chegou-se no orçamento da obra a partir dos dimensionamentos e do prazo previsto de execução e do desembolso de capital para realizá-la.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se, após o estudo de caso e construção da nova barragem de terra, que, para se construir uma pequena barragem de terra, não é tão simples. É necessário obter diversas informações sobre o curso d'água a ser represado; obedecer a legislações vigentes; ter conhecimento dos elementos de que consistem na barragem; conhecer o solo onde será locada a barragem, para que se possa determinar qual tipo de barragem a ser construída; ter o auxílio de um profissional para determinar as dimensões e seus elementos, melhor local para um menor custo de construção e de processos de construção. Com esses conhecimentos e diretrizes, o pretendente que deseja construir uma barragem de terra em sua propriedade, para qualquer finalidade, irá obter uma barragem de terra eficiente, segura e estável, com o menor custo.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. 2005 Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br>>. Acesso em 25 mai 2015.

ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS. Disponível em:<<http://www.atlasdasaguas.ufv.br/home.html>> Acesso em: 02 mai. 2015.

BASTOS, Cesar. DMC/FURG – Mecânica dos Solos, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de águas, Ministério do Meio Ambiente. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da agência nacional de águas.** Brasília – DF.2013

FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, 2011).

IGAM - nstituto Mineiro de Gestão de Águas. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br>. Acesso em 25 mai 2015

LOPES, José Dermival S. **Construção de pequenas barragens de terra.** Viçosa – MG: CPT, 2008. 174p.

LOZANO, Mauro, Artigo Aterro de Alta Performance - (AP) - 2 - Obras de Pavimentação, Artigo apresentado no XII GEOTEC, Jundiaí, 2012.

Norma DNIT 108/2009 – ES – Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviços

STEPHENS, Tim. **Manual sobre pequenas barragens de terra:** Guia para a localização, projeto e construção. Roma: FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. 2011.

Trenter (2001),
Google Earth (2015)
Software HIDROTEC