

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

MAÍRA SOARES DE BRITO

**GUIA PARA DIMENSIONAMENTO DE BARRAGENS DE TERRA DE
PEQUENO PORTE**

Paracatu

2019

MAÍRA SOARES DE BRITO

GUIA PARA DIMENSIONAMENTO DE BARRAGENS DE TERRA DE PEQUENO

PORTE

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniAtenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo

Paracatu

2019

MAÍRA SOARES DE BRITO

GUIA PARA DIMENSIONAMENTO DE BARRAGENS DE TERRA DE PEQUENO

PORTE.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniAtenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo

Banca Examinadora:

Paracatu – MG, ____ de _____ de _____.

Prof.

Centro Universitário Atenas

Prof^a.

Centro Universitário Atenas

Prof.

Centro Universitário Atenas

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a oportunidade que tive de ingressar neste curso. Isso se estende a todos que contribuíram para que isso pudesse se concretizar.

À minha família por sempre está presente, norteando meu caminho e me estimulando para conquistas e crescimento pessoal. Aos meus pais, pelas lições e virtudes, das quais sempre procuro seguir.

Aos amigos, que conquistei durante o curso, em especial, Amanda, Douglas e Lorena, que promoveram as melhores festas, as melhores risadas e os melhores grupos de estudos.

E o meu mais sincero agradecimento aos meus queridos amigos, Douglas e Larissa por me ajudarem com esse trabalho.

Aos professores, pela amizade, apoio, atenção, incentivo e por todo o conhecimento repassado.

E o meu agradecimento especial ao professor e orientador Pedro Henrique Pedrosa, por dedicar seu tempo e conhecimento para me orientar da melhor maneira.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente participaram desta fase da minha vida, o meu muito obrigada!

“Precisamos dar sentido humano às nossas construções. E, quando o amor ao dinheiro, ao sucesso nos estiver deixado cegos, saibamos fazer pausas para olhar os lírios do campo e as aves do céu”.

Érico Veríssimo

RESUMO

Nos períodos de escassez, em que demandam a armazenagem de água no período de chuvas, as barragens são obras civis de suma importância na gestão dos recursos hídricos. Sendo comum a construção de pequenas barragens de terra, determinada atividade é realizada na sua maior parte sem a preparação de projeto, ocasionando prejuízos financeiros e colocando em risco a obra e as pessoas. Essa atividade é comum em Minas Gerais, fato este que casos relacionados a rompimento de barragens com danos significativos ocorreram em Minas. Com base em estudos, análises e critérios adequados um profissional capacitado deve realizar o projeto construtivo de uma barragem de terra. Diante disso, o trabalho associa os itens e pontos para dimensionar uma pequena barragem de terra, descrevendo a tipologia e seus componentes, associando e apresentando os critérios e pontos para dimensionamento de barragens, tendo como finalidade servir de apoio para criação de projetos geotécnicos.

Palavras-chave: Barragens de terra. Rompimento. Projetos.

ABSTRACT

In periods of scarcity, where water storage is required during the rainy season, dams are important civil constructions for water resources management. Being usual the construction of small earthfill dams, in most part this practice is performed without a Project plan, causing financial losses and putting in risk people's lifes and to the construction itself. This use is commom in Minas Gerais, wich facts related to dams breaking with significant damages have ocurred in Minas. Based in researches, analsys and adequated criteria that a capable professional can carry out a constructive project of an earthfill dam. Therefore, the paper associates the items and main points to size a small earthfill dam describing its tipology and elements, associating and presenting the criterias and elements to sizing dams, which can be used to provide support on creating geotechnical projects.

Keywords: *Earthfill dams. Dam break. Projects.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Representação esquemática dos elementos de uma barragem de terra	16
Figura 2	– Vista da representação dos elementos de uma barragem de terra	17
Figura 3	– Barragem de Terra Simples com Corpo Homogêneo	19
Figura 4	– Barragem de Terra Simples com Corpo Heterogêneo	19
Figura 5	– Representação do Dreno de pé em uma Barragem	20
Figura 6	– Representação da Proteção do Talude	20
Figura 7	– Barragem de Terra com Núcleo Impermeável	21
Figura 8	– Barragem de Terra com Capa Impermeabilizadora	21
Figura 9	– Seção transversal típica de uma barragem de terra	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definição dos elementos de uma barragem de terra.	17
Quadro 2 – Alguns valores de C para a fórmula de Hazen-Williams.	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA Agência Nacional de Águas

SPT *Standard Penetration Test*

GPS *Global Positioning System*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2	HIPÓTESES	13
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	OBJETIVO GERAL	13
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4	JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	14
1.5	METODOLOGIA DO ESTUDO	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	TIPOLOGIA DE BARRAGENS E SEUS COMPONENTES	16
2.1	COMPONENTES DA BARRAGEM DE TERRA	16
2.2	TIPOLOGIA DAS BARRAGENS DE TERRA	18
2.2.1	BARRAGEM SIMPLES	19
2.2.1.1	BARRAGEM COM NÚCLEO	21
3	CRITÉRIOS DE PROJETO PARA PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA	22
3.1	PROJETO DE UMA PEQUENA BARRAGEM DE TERRA	22
3.2	ORIENTAÇÃO PARA ESCOLHA DO LOCAL DA BARRAGEM	23
3.3	TIPO DE SOLO	24
3.4	TOPOGRAFIA	24
3.5	DEMANDA HÍDRICA	25
3.6	VAZÃO DE PROJETO	25
3.7	EXTRAVASOR	26
3.8	DESARENADOR	26
3.9	COMPACTAÇÃO DO SOLO	27
4	EXEMPLIFICAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO	27
4.1	VOLUME DE ÁGUA A ARMAZENAR	27
4.2	ALTURA DA BARRAGEM	28
4.3	PERFIL DA BARRAGEM	29
4.4	OBRAS ACESSÓRIAS	30
4.5	DIMENSIONAMENTO DE FILTROS	31
4.6	PIPING	32

5 CONCLUSÃO	
REFERÊNCIAS	

	33
	34

1 INTRODUÇÃO

Devido à escassez de água em épocas de seca, as barragens tiveram um papel fundamental no desenvolvimento das civilizações. Pela consequente necessidade de armazenamento de água, sobretudo, sua construção era motivada, porém as barragens estavam sendo executadas por métodos empíricos (SOUZA, 2013).

Barragens de terra com estocagem de água são usadas desde os primórdios da civilização, como atestam a história clássica e o que restou de estruturas de antigas edificações. Como uma antiga barragem de terra em Sri Lanka, construída em 504 a.C. a qual possui 13 milhões de metros cúbicos de material aterrado. É importante destacar que algumas dessas estruturas já possuíam tamanho notável. Como no passado, hoje em dia as barragens de terra são o tipo mais utilizado de pequenos barramentos, devido aos materiais a serem utilizados em seu estado natural e com o mínimo de processamento (CULLEN, 1964).

Infelizmente problemas com barragens são frequentes. O desenvolvimento tecnológico proporcionou melhorias ao longo do tempo, mas ainda há relatos de problemas associados a barragens. Entre 2000 e 2009 foram relatados 140 acidentes apenas no Brasil (PERINI, 2009). Fato é que, a construção de barragens de terra de pequeno e médio porte, na maioria dos casos não contam com projetos técnicos baseados em dados obtidos por meio de ensaios laboratoriais e de campo, ou mesmo na análise criteriosa de estabilidade de barramentos.

A maior parte das pesquisas geotécnicas são dirigidas para as barragens de grande porte. Assim, para a formulação de projeto para barragens de pequeno porte, são utilizadas apenas orientações provenientes de manuais técnicos, apostilas didáticas e recomendações empíricas (PASCHOALIN FILHO, 2002). As barragens de terra possuem diversas finalidades, todavia, em se tratando de pequenas barragens de terra, geralmente construídas em pequenas propriedades, essas finalidades se reduzem.

Por ser relativamente cara a construção de uma barragem, alguns proprietários de pequenas terras procuram torna-la menos onerosa, sacrificando, geralmente, a sua segurança. Portanto, com a ajuda de um guia com o dimensionamento de uma barragem de pequeno porte, esses proprietários poderão,

com a ajuda de um técnico ou engenheiro qualificados, evitar o risco de perder uma obra dessa natureza somente pelo não cumprimento das normas de segurança que esta construção exige.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Como um guia pode facilitar o dimensionamento de barragens de terra de pequeno porte?

1.2 HIPÓTESES

Apesar da simplicidade de uma obra de uma pequena barragem de terra, que se utiliza materiais de baixo custo, se torna essencial a observação das normas de segurança fundamentais que tal construção exige, evitando, assim, riscos desnecessários para a população e meio ambiente.

Para facilitar o dimensionamento de uma barragem de terra de pequeno porte os critérios e normas que são utilizados para seu dimensionamento devem ser associadas, para assim gerar confiança e facilidade ao dimensionar uma pequena barragem de terra.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Facilitar as implicações técnicas relacionadas às metodologias de barragens de terra enfatizando sua relevância para o campo de construção de pequenas barragens de terra.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo principal, este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- a) Descrever a tipologia de barragens e seus componentes;
- b) Associar os itens e pontos do dimensionamento de uma barragem de terra de pequeno porte;
- c) Apresentar o dimensionamento de uma barragem de terra de pequeno porte.

1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

De acordo com a Agência Nacional de Águas - ANA (2016), a estrutura de uma barragem em um curso de água, temporário ou permanente, serve para acumulação ou contenção, de substâncias líquidas ou a mistura de líquidos e sólidos. As construções de barragens podem ser para fins de produção de energia elétrica, irrigação, abastecimento público, contenção de resíduos sólidos, regularização de cheias, piscicultura e recreação, abastecimento de indústrias agropecuárias, etc. Assim, um guia para o dimensionamento de barragens de pequeno porte pode ser utilizado por engenheiros e técnicos para facilitar a concepção dos projetos visando as determinações da ANA.

Uma barragem num rio ou ribeiro poderá ser essencial construção para permitir o armazenamento, fora da época das chuvas, recurso vital como a água. Apesar de serem principalmente para regadio, estas estruturas podem ser utilizadas, separadamente ou combinadas, para a produção de peixe, armazenamento e abastecimento de água potável, fossa para águas residuais, recargas de águas subterrâneas, controle de cheias e armazenamento de conservação (FAO, 2011).

De acordo com a Agência Nacional de Águas, existe no Brasil cerca de 22.920 barragens identificadas, sendo que apenas 12.590 dessas possuem regularização ou algum tipo de autorização (outorga, concessão, licença ou autorização), ou seja, cerca de 45% de todas as barragens identificadas no Brasil estão funcionando de forma irregular, o que pode oferecer um alto risco à população e também ao meio ambiente.

1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO

Neste trabalho será apresentado o método de pesquisa exploratório, com abordagem qualitativa, com a finalidade de proporcionar mais informações sobre o

assunto a ser abordado, possibilitando sua definição e seu delineamento. Com isso a pesquisa vai se basear em compreender aspectos gerais sobre o dimensionamento de pequenas barragens de terra, bem como as tipologias e seus componentes, concluindo, assim, com um exemplo de dimensionamento de uma barragem de terra de pequeno porte, partindo de uma revisão bibliográfica composta pelos principais autores da área.

Com a pesquisa exploratória é possível obter explicações dos fenômenos que inicialmente não eram aceitos pelos demais pesquisadores, mesmo com as evidências apresentadas, além de descobrir novos fenômenos e formular novas hipóteses e ideias. O método utilizado na pesquisa exploratória envolve além do levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tenham domínio do assunto estudado, pesquisas de campo e análise de outros exemplos que estimulem a compreensão do tema. E a abordagem qualitativa foca no caráter subjetivo do objeto analisado, estudando as particularidades e experiências individuais do tema em estudo (GIL, 2007).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi desenvolvido em 3 capítulos, sendo o primeiro capítulo uma introdução sobre as barragens, abordando sobre a tipologia das barragens de terra. No segundo capítulo são dispostos os elementos necessários para elaboração de um projeto de uma pequena barragem de terra, tais como, a orientação do local da barragem, o tipo de solo a ser utilizado, a topografia do local, a demanda hídrica do barramento, a vazão de projeto, o extravasor e desarenador.

O terceiro capítulo é constituído do modelo a ser seguido para o dimensionamento de uma barragem de terra de pequeno porte, abordando as equações para cálculo do volume de água a ser armazenado; altura, perfil e obras acessórias do barramento. Por fim, foram descritas as conclusões e considerações finais do trabalho.

2 TIPOLOGIA DE BARRAGENS E SEUS COMPONENTES

Conforme FAO (2011), as barragens de terra são simples estruturas compactadas que para resistir ao deslizamento e tombamento dependem da sua massa e são encontradas em todo o mundo.

Caso possua grande abundância de solo no entorno do local de implantação da barragem, bem como suas propriedades geotécnicas sejam adequadas para facilitar a adaptação aos terrenos de fundação existira uma boa aceitação técnica.

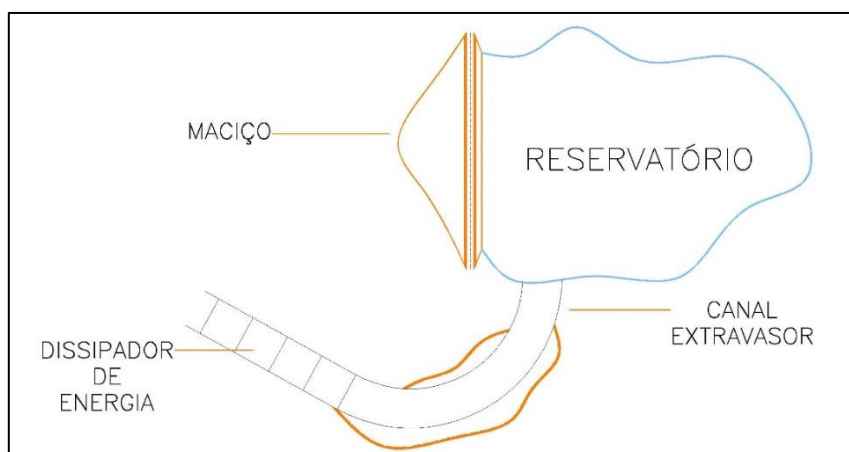
As barragens de terra dispõem de algumas vantagens e desvantagens, tais como:

- Vantagens: utiliza materiais natural do local, possui projetos simples, menor investimento, fundação simples, são mais utilizadas em áreas onde há movimentos do solo do que as estruturas mais rígidas.
- Desvantagens: são mais susceptíveis a danos ou destruição com passagem de água corrente sobre ou batendo contra ela, construção mais elaborada de vertedouros, se não compactada adequadamente e uniformemente se torna frágil, necessita de manutenção contínua para evitar erosões e danos diversos.

2.1 COMPONENTES DA BARRAGEM DE TERRA

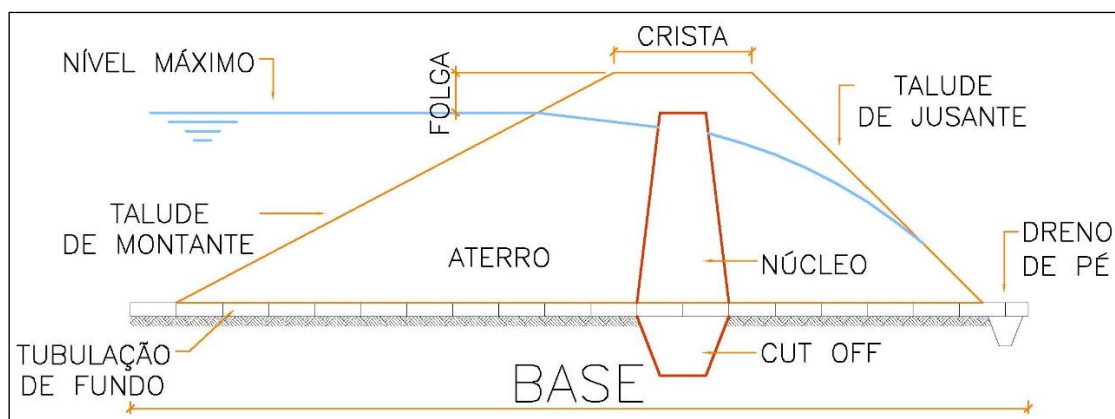
Para Carvalho (2008), é necessário apresentar alguns componentes da barragem para melhor entendimento.

Figura 1 – Representação esquemática dos elementos de uma barragem de terra.



Fonte: CARVALHO, 2008 - Adaptado pelo autor (2019).

Figura 2 - Vista da representação dos elementos de uma barragem de terra.



Fonte: CARVALHO, 2008 - Adaptado pelo autor (2019).

Quadro 1 – Definição dos elementos de uma barragem de terra.

ELEMENTOS DA BARRAGEM	DEFINIÇÃO
ATERRO	É o maciço, ou seja, é a estrutura que tem a função de reter a água.
ALTURA	É a distância vertical entre a superfície do aterro e a parte superior.
BORDA LIVRE OU FOLGA	Distância vertical entre a crista da barragem e o nível da água do reservatório, com o objetivo de assegurar contra o transbordamento.
TALUDES	São as superfícies laterais do aterro, sendo o de montante aquele que está em contato com a água, e o de jusante aquele que está do lado seco da barragem.
CRISTA	É a parte superior da barragem.
ESPELHO D'ÁGUA	Superfície d'água acumulada no reservatório.
BASE OU SAIA DO ATERRO	Projeção dos taludes de montante e jusante.
CUT-OFF	Vala construída no eixo da barragem para maior segurança.
NÚCLEO	Construído no centro do aterro para diminuição da infiltração.
EXTRAVASOR OU VERTEDOURO	Estrutura com a finalidade de escoar o excesso de água da represa.
DESARENADOR	Também conhecido como tubulação de fundo, tem a função de controle do nível da represa e garantir o escoamento à jusante.
DISSIPADOR DE ENERGIA	Construído para diminuir a energia cinética da água, ao voltar ao seu leito natural.

Fonte: Pelo autor (2019).

2.2 TIPOLOGIA DAS BARRAGENS DE TERRA

De acordo com Carvalho (2008) as barragens de terra necessitam de uma grande quantidade de terra, que devem estar dispostas preferencialmente no local de implantação da obra. Dependendo do tipo de material utilizado na construção da barragem sua classificação difere em simples ou com núcleo impermeável.

Os materiais que possuem textura mista (areia, silte e argila) têm sua preferência na utilização da construção da barragem. Como as primeiras camadas de solo não são boas indicadores da qualidade do material é recomendável para análise do material, realizar a sondagem do local onde irá fazer a retirada do material para fins de verificação da qualidade do material.

Como acontece a percolação d'água no corpo da barragem de terra, a mesma não pode ser considerada como impermeável e tal fenômeno deve ser tratado com bastante cuidado. É feito o traçado das redes de fluxo d'água no corpo da barragem, pois a percolação coloca em risco a estabilidade da barragem. Por meio das redes de fluxo é possível estabelecer o local adequado de drenos e camadas impermeáveis (Lopes; Lima, 2008).

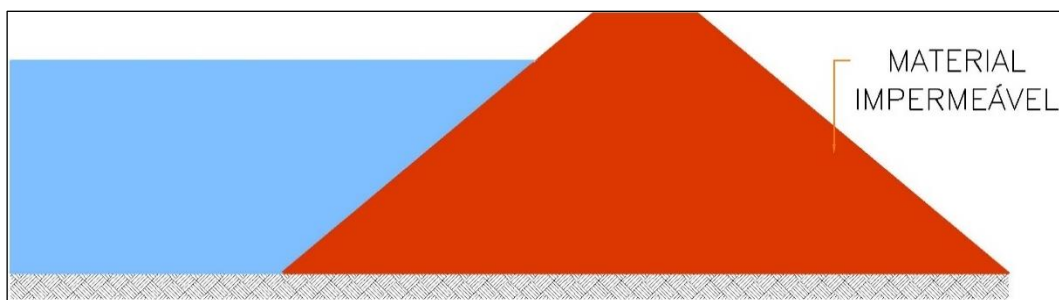
Conforme o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (BRASIL, 2002), devem ser feitas inspeções na crista, taludes e ombreiras da barragem em busca de fissuras, abatimentos e desalinhamentos da superfície. Os taludes de montante e jusante assim como as ombreiras da barragem devem ser estáveis, os esforços na fundação da barragem não podem causar deformações que levem a fundação à ruptura.

Para Caputo (1985), a estabilidade da barragem interpreta uma análise do corpo da barragem e do solo de fundação. No corpo da barragem é necessário estudar o problema dos recalques, da ruptura de taludes e tensões cisalhantes que se ampliam na base do maciço.

2.2.1 BARRAGEM SIMPLES

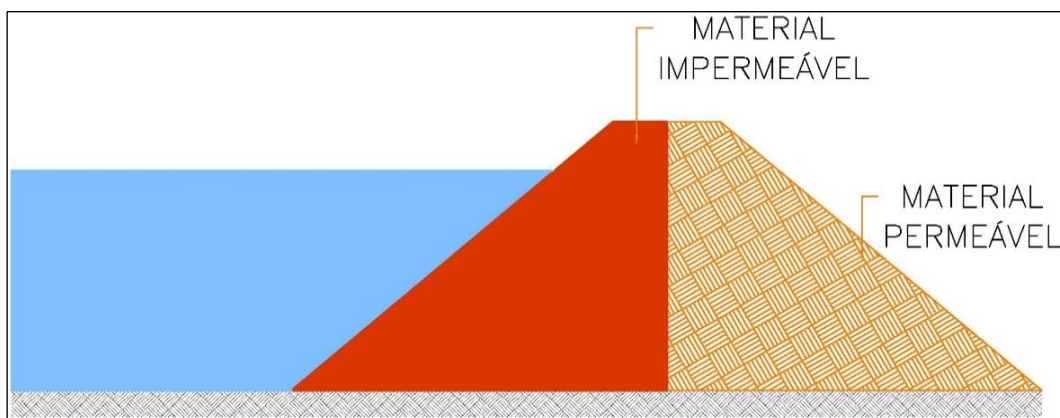
Há dois tipos de barragem simples, a construída com material homogêneo (Figura 3) ou com material heterogêneo (Figura 4).

Figura 3 – Barragem de Terra Simples com Corpo Homogêneo.



Fonte: LOUREIRO, 1994 - Adaptado pelo autor (2019).

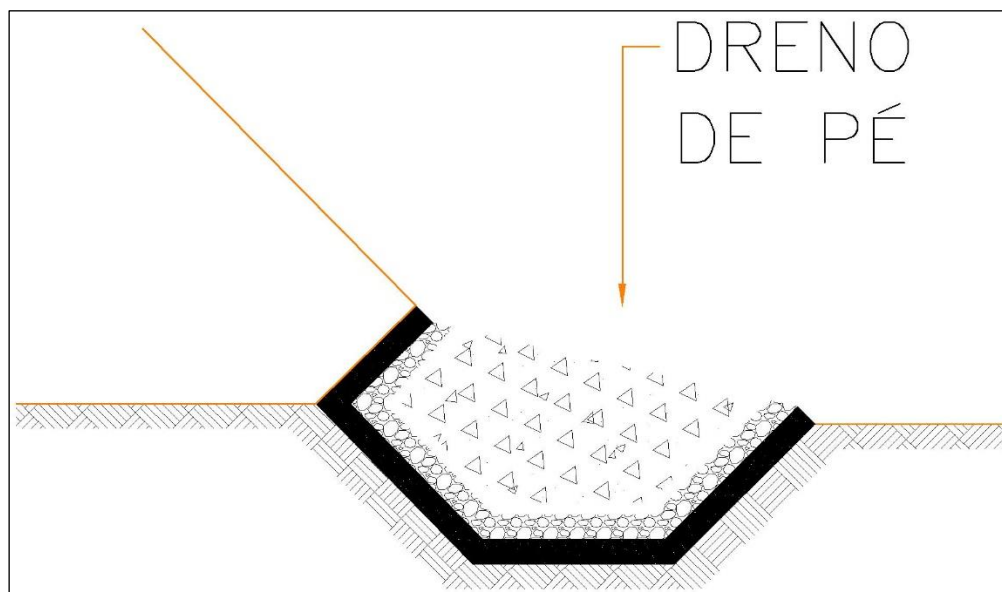
Figura 4 – Barragem de Terra Simples com Corpo Heterogêneo.



Fonte: LOUREIRO, 1994 - Adaptado pelo autor (2019).

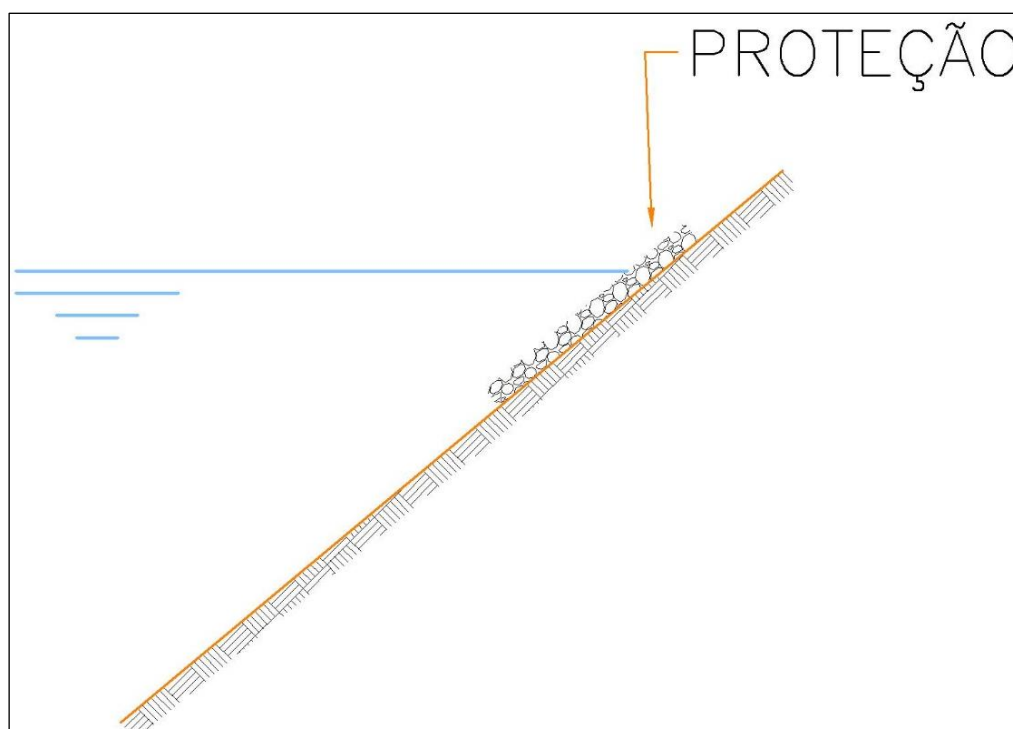
Quando o solo do local da barragem oferece condições apropriadas para construção e impermeabilização se recomenda construí-la de material homogêneo. As barragens constituída de material homogêneo podem revelar problemas como deslizamento de talude e infiltração com afloramento de água à jusante, tais problemas podem ser solucionados com utilização de drenos de pé da barragem (Figura 5) e utilização de materiais grosseiros sobre o talude (Figura 6).

Figura 5 – Representação do Dreno de pé em uma Barragem.



Fonte: CARVALHO, 2008 - Adaptado pelo autor (2019).

Figura 6 – Representação da Proteção do Talude.



Fonte: CARVALHO, 2008 - Adaptado pelo autor (2019).

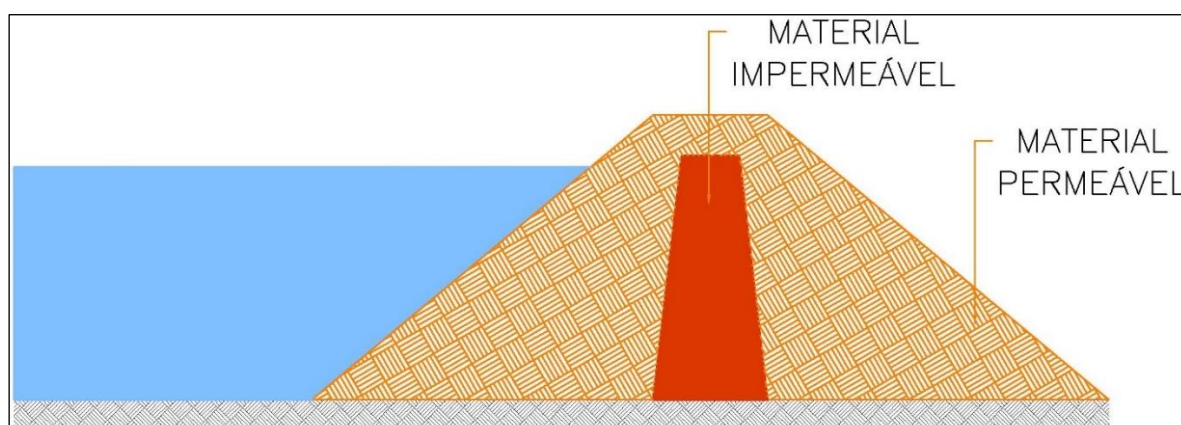
Quando o solo disponível não é de boa qualidade é feita a utilização de material heterogêneo, em casos assim se deve tomar o cuidado de separar o material de melhor qualidade para utiliza-lo na construção de talude de montante da barragem.

2.2.1.1 BARRAGEM COM NÚCLEO

É utilizado o núcleo como mostrado na Figura 6 quando o material a ser empregado na construção da barragem é de má qualidade, especialmente se possuir uma camada arenosa, devido sua grande permeabilidade. Também é possível optar pela construção de uma capa impermeabilizadora colocada na parte externa do talude de montante (Figura 7).

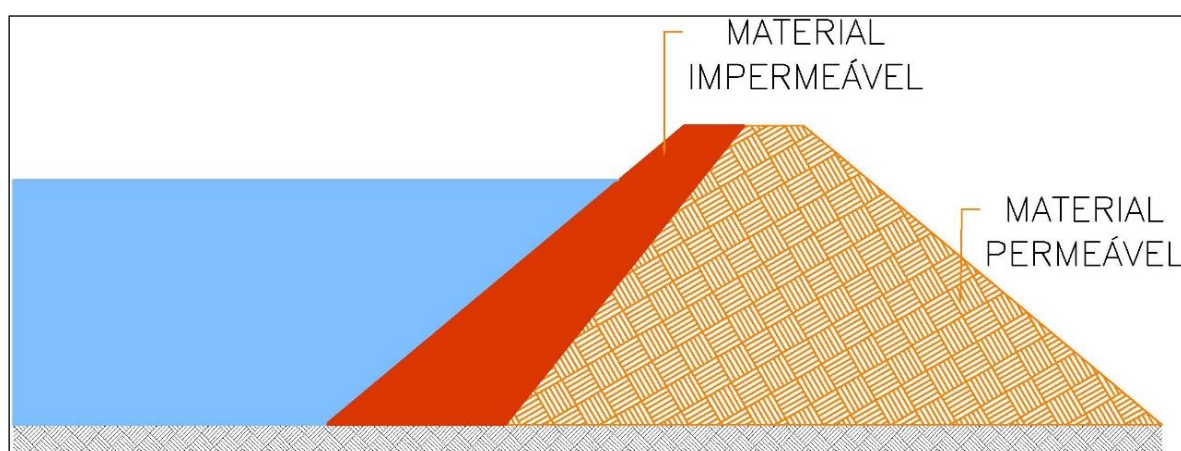
O material que compõe o núcleo é uma mescla de areia, cascalho e argila, a argila em maior quantidade, pois acarretará em um bloco que se recorda ao concreto.

Figura 7 – Barragem de Terra com Núcleo Impermeável.



Fonte: LOUREIRO, 1994 - Adaptado pelo autor (2019).

Figura 8 – Barragem de Terra com Capa Impermeabilizadora.



Fonte: LOUREIRO, 1994 - Adaptado pelo autor (2019).

3 CRITÉRIOS DE PROJETO PARA PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA

Com a intenção de diminuir os custos, em várias propriedades é corriqueiro encontrar barragens construídas sem nenhum dimensionamento técnico, e, na maioria das vezes, são construídas sem cumprir os parâmetros básicos de segurança. Contudo, é dever do proprietário solicitar um profissional qualificado e capacitado para preparação de um projeto construtivo da barragem e sua execução, respeitando as normas técnicas de segurança (CARVALHO, 2008).

3.1 PROJETO DE UMA PEQUENA BARRAGEM DE TERRA

Conforme o Guia Prático de Pequenas Barragens da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), os projetos de pequenas barragens precisarão englobar no mínimo os seguintes critérios:

- Levantamento planialtimétrico: a área a ser alagada pelo reservatório, com o cálculo da área alagada e do volume do reservatório, bem como a localização da barragem;
- Estudos hidrológicos: definição da vazão disponível para barramento e vazão máxima de cheia com base em precipitações relacionadas a intensidade, duração e características da bacia hidrográfica;
- Dimensionamento hidráulico: tomada d'água, descarga de fundo e extravasor com base nos estudos hidrológicos;
- Reconhecimento do terreno de fundação: por meio de análise de amostras indeformadas e ensaios in situ para definição das características de resistência ao cisalhamento e de permeabilidade e por meio de poços ou sondagens;
- Estudo dos locais de empréstimo de solos: para avaliação dos respectivos volumes e construção do aterro, ensaios laboratoriais de reconhecimento e de compactação;
- Dimensionamento estrutural: com uma proposta de um plano simplificado de segurança da barragem, a geometria da barragem (cotas, borda livre, inclinação dos taludes, altura da barragem e características e dimensões dos diferentes tipos de maciços constituintes, detalhamento dos elementos, etc.);

- Levantamento e caracterização: zona da barragem afetada por uma eventual ruptura;
- Parâmetros mitigadores dos impactos ambientais: incluem a recuperação das áreas de empréstimo, a proteção do reservatório em relação ao assoreamento e a alteração da qualidade da água.

3.2 ORIENTAÇÃO PARA ESCOLHA DO LOCAL DA BARRAGEM

Tal qual Lopes e Lima (2008), o melhor local para a construção da barragem precisará dispor dos seguintes atributos:

- O local de assentamento do aterro, não deverá possuir nascentes e afloramento rochoso;
- Locais com solos argilosos, secos e profundos são os de preferência, evitando locais com solos arenosos e alagados. Se for o caso, procurar área de empréstimo que possua solo propício para a construção do aterro, principalmente para o núcleo impermeável;
- O local da calha do manancial deverá ser o mais estreito possível, formando um desfiladeiro natural, diminuindo o volume do aterro e, por conseguinte, os custos de construção;
- O local deverá possuir vales abertos e com pouca declividade para se armazenar um maior volume de água.
- Ter material adequado para o aterro nas proximidades da área da barragem, diminuindo os custos com movimentação e transporte de terra;
- Evitar intercessões em edificações, plantações, estradas. Conferir as condições de ocupação a jusante da barragem.

A definição do local para construção da barragem é um dos passos mais importantes do projeto, visto que um local inapropriado pode causar riscos e problemas para o proprietário e para o responsável pela execução da obra. Uma boa distinção do local irá ajudar na construção de uma barragem mais eficiente e segura.

3.3 TIPO DE SOLO

A análise do tipo de solo da área é uma etapa indispensável, uma vez que permite classificar a capacidade do solo em atender uma obra e suas condições reais de execução, sendo capaz de evitar problemas futuros. Com a conclusão gerada pela sondagem, os critérios necessários para a execução da obra poderão ser obtidos, tais como, o nível d' água, o tipo do perfil de solo e o tipo de fundação mais adequado.

De acordo com Carvalho (2008), dentre as técnicas de sondagem, as mais utilizadas são: ensaio a percussão *Standard Penetration Test* (SPT), que por meio da penetração no solo de um barrilete de 65 kg caindo de uma altura de 75 cm, consegue-se obter a resistência; rotativa, indicada para solos mais duros e com rochas; poço de visita, que consiste na abertura de poços para a vistoria, em seu interior, por um técnico especializado. A profundidade do ensaio de sondagem deve atingir um perfil de solo com um grau de compactação que seja suficiente para a construção da fundação.

3.4 TOPOGRAFIA

O declive de uma bacia hidrográfica está fundamentalmente relacionado com vários processos hidrológicos, como escoamento superficial, infiltração, percolação de água no solo, fluxo de água subterrânea, entre outros. Segundo Carvalho (2008), as bacias hidrográficas centradas em locais mais altos estão sujeitas a ocorrência de maior precipitação média, menores temperaturas e maior escoamento superficial.

De acordo com Lopes e Lima (2008), um levantamento topográfico específico da área da barragem, ou seja, do aterro e reservatório, é um dos elementos fundamentais e importantes na preparação do projeto, facilitando a definição, com maior precisão, como por exemplo, plantas com curvas de nível de metro a metro; nível máximo do reservatório e área a ser inundada; além disso, a altura da crista e posicionamento do maciço, extravasor e descarga de fundo; cálculo do volume de terra do maciço e a vegetação que necessita ser removida.

São várias as formas de realizar o levantamento planialtimétrico para criação do mapa topográfico do terreno da barragem. Processos simplificados como o uso de mangueira de nível, teodolito e cartas topográficas ainda são empregados, porém, com o desenvolvimento das técnicas e equipamentos, atualmente são usados estação total e GPS de alta precisão, sendo este último o mais recomendado por possibilitar a definição adequada do terreno, otimizando o dimensionamento e o projeto construtivo da barragem a ser instalada.

3.5 DEMANDA HÍDRICA

A demanda hídrica relaciona-se à necessidade de água para satisfazer a um determinado uso ou aplicação, como, por exemplo, o abastecimento público, geração de energia, irrigação, etc., referente ao consumo ou escassez a ser suprida.

3.6 VAZÃO DE PROJETO

A vazão de projeto ou vazão de enchente é o volume máximo de escoamento de água que pode passar em determinado trecho do curso d'água. Este dado é de grande importância para o projeto, especialmente no dimensionamento das estruturas hidráulicas da barragem.

A vazão de projeto provém da área da bacia de contribuição, ou seja, a área da superfície que é drenada para um ponto específico, que pode ser alcançada através de cartas topográficas ou programas especializados na obtenção da topografia de terrenos. O tempo de concentração é o período de tempo, demonstrado em minutos ou horas, em que acontece uma determinada precipitação, qualificada por sua intensidade, que por sua vez é o volume de precipitação por unidade de tempo, obtida como a relação entre altura pluviométrica e duração, expressa em mm/h.

A vazão de projeto ou vazão de enchente de uma bacia de contribuição, relacionada à segurança de uma obra hidráulica, está ligada a probabilidade da ocorrência do evento – chuva de projeto – em um ano qualquer (SÃO PAULO, 2005).

3.7 EXTRAVASOR

Para Matos *et al.* (2012), a água que precipita em excesso a açudes e represas pode ser proveniente de duas fontes: vazão normal, que acontece depois do enchimento do reservatório, para dar abertura à água de rios ou riachos infundáveis, e vazão de enchentes. O superabundância de água devido às vazões normal e de enchente deve ser suprimido pelo extravasor, igualmente denominado sangradouro, vertedouro, vertedor, descarregador de superfície e ladrão.

De acordo com Baptista *et al.* (2003), é de suma importância prever a construção de estruturas dissipadoras de energia, designadas a compatibilizar a velocidade do escoamento com as propriedades de resistência do meio físico a jusante, pois a cinética associada ao escoamento d'água à jusante de variadas estruturas hidráulicas, como por exemplo os vertedores, podem chegar a níveis mais elevados. A excessividade desta energia cinética pode desempenhar ações distribuidoras, tanto na própria estrutura assim como no corpo natural receptor das águas.

3.8 DESARENADOR

Ocorrerão situações em que será necessário fazer o esvaziamento da represa, e isto será realizado por meio de uma tubulação, com mecanismo para abertura e fechamento da água (registro ou comporta), chamada de desarenador (LOPES *et al.*, 2008).

O desarenador, igualmente chamado de tubulação de fundo, tem o objetivo de promover o controle do nível do reservatório, eliminação dos depósitos do fundo, esvaziamento da represa e escoamento da vazão mínima ou ecológica (CARVALHO, 2008).

Ele deverá ser acomodado na parte de baixo do maciço de terra, bem rente à parte mais profunda da represa (LOPES *et al.*, 2008).

3.9 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação é um procedimento mecânico, pelo qual se busca, por utilização de peso ou apiloamento, reduzir os vazios do solo.

Das obras de terra a construção de aterros é, a que mais demanda o estudo da compactação. Ou seja, o processo pelo qual se informa ao solo não só a densidade e resistência como além disso, e sobretudo, estabilidade.

Determinados ensaios realizados em laboratório revelam que cada índice de resistência de um solo decresce com o acréscimo da umidade, desde que o solo não seja antecipadamente saturado; no instante em que esse solo se saturar sua resistência cairá a níveis muito baixos.

Deste modo, os aterros bem compactados não serão essencialmente aqueles que proporcionam grande resistência, e sim aqueles cuja resistência é estável independente das estações climáticas do ano. Esta qualidade é adquirida quando a densidade é máxima, situação em que a umidade do solo é dita ótima.

Para realizar uma boa compactação, é indispensável especificar o grau de compactação, a umidade do solo a ser compactado e o equipamento a ser utilizado (energia de compactação) (VARGAS, 1977).

4 EXEMPLIFICAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO

4.1 VOLUME DE ÁGUA A ARMAZENAR

O volume de água a armazenar resulta das necessidades a serem atendidas.

Os volumes parciais entre as curvas de nível da bacia de acumulação são calculados, utilizando a seguinte equação, que estima o volume como troncos de cone invertidos. Dessa forma:

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

Em que:

V_n = Volume útil armazenado, m³;

S_{n-1} = Área da curva de nível, m²;

S_n = Área da curva de nível, m²;

h = Diferença e cota entre duas curvas de nível.

4.2 ALTURA DA BARRAGEM

A altura da barragem é calculada em função do volume total de água a ser acumulada. Além da altura referente ao nível máximo de acumulação, é previsto no dimensionamento a elevação que ocorre em épocas de intensas precipitações e ainda, uma altura referente à folga entre o nível máximo de água e a crista da barragem. Para o cálculo da altura máxima da barragem foi utilizada a Equação:

$$H = h_n + h_e + f \quad (2)$$

Em que:

H = Altura máxima da barragem, m;

h_n = Altura da lâmina de água normal, m;

h_e = Altura da lâmina de água no extravasor, m;

f = Altura da folga, m.

O cálculo da crista é realizado pela equação seguinte:

$$C_r = \frac{H}{5} + 3 \quad (3)$$

Em que:

C_r = Largura da crista, m;

H = Altura máxima da barragem, m.

A largura da crista de uma barragem deve sempre ser maior que 3 m, e, caso tenha a necessidade do trânsito de veículos é exigido que sua largura seja no mínimo igual a 6m.

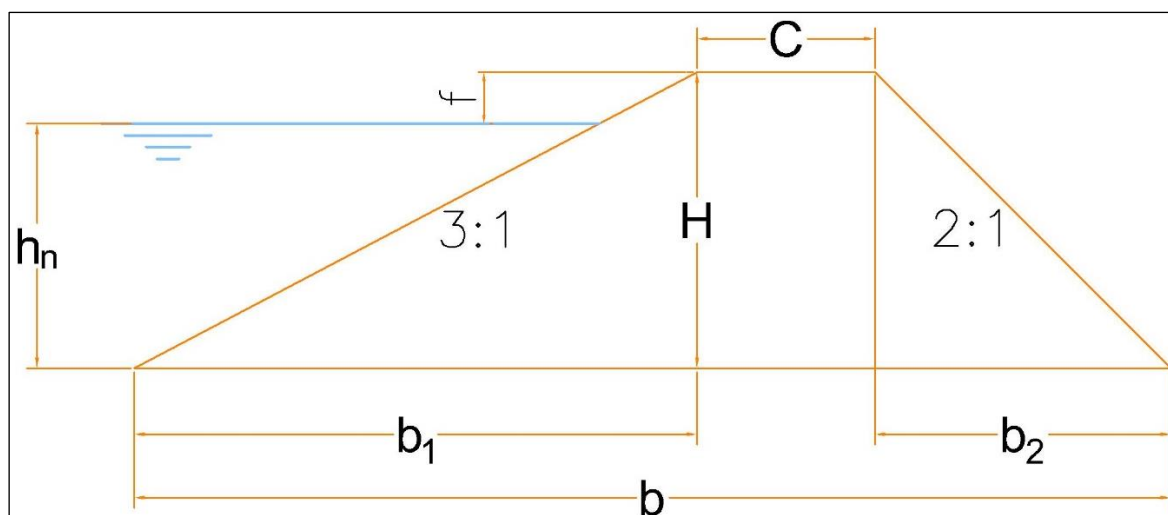
4.3 PERFIL DA BARRAGEM

De acordo com Matos *et al.* (2012), a altura da barragem depende do tipo de material.

As inclinações dos taludes geralmente apresentam valores próximos, no entanto há uma tendência de se adotar a relação 2,5 a 3:1 para taludes de montante e 2:1 para taludes de jusante.

Podendo também, adotar mais de uma inclinação para o mesmo talude, sendo que as menores inclinações ficarão na parte inferior do talude.

Figura 9 – Seção transversal típica de uma barragem de terra.



Fonte: CARVALHO, 2008 - Adaptado pelo autor (2019).

Há diferentes definições para folga, f . Adota-se como mínimo o valor de 0,5 a 1,0 m, comumente usados para pequenas barragens. Deve-se, contudo, ter em mente que pequenas bacias de drenagem são suscetíveis à produção de grandes cheias, em virtude de as chuvas intensas terem como característica cobrir pequenas áreas.

4.4 OBRAS ACESSÓRIAS

São três as principais finalidades das obras acessórias de uma barragem: eliminação do excesso de água, eliminação do material depositado e esvaziamento e tomada de água.

- Eliminação do excesso de água:

$$Q = 1,55 \times L \times H \times \sqrt{H} \quad (4)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{C.I.A}{360} \quad (5)$$

Em que:

Q = Vazão do vertedor, m^3s^{-1} ;

L = Largura do vertedor, m;

H = Altura da lâmina de água do vertedor, m;

$Q_{m\acute{a}x}$ = Vazão máxima do vertedor, m^3s^{-1} ;

C = Coeficiente de escoamento;

I = Intensidade média de precipitação, $mm\ h^{-1}$;

A = Área da bacia de drenagem, ha.

- Eliminação do material depositado e esvaziado:

$$Q = 0,279 \times C \times D^{2,63} \times J^{0,54} \quad (6)$$

Em que:

D = Diâmetro, m;

Q = Vazão escoada, m^3s^{-1} ;

J = Perda de carga unitária, $m.m^{-1}$;

C = Coeficiente da equação de Hazen-Williams.

Quadro 2 – Alguns valores de C para a fórmula de Hazen-Williams.

Material	C
Cimento – Amianto	140
Concreto (bom acabamento)	130
Concreto (acabamento comum)	120
Ferro fundido novo	130
Ferro fundido usado	90
Manilhas	110
Tijolos com bom acabamento	100
Plástico	140

Fonte: CARVALHO, 2008 - Adaptado pelo autor (2019).

4.5 DIMENSIONAMENTO DE FILTROS

De acordo com Massad (2010), o dimensionamento de filtros horizontais e verticais tem as seguintes equações:

- Para filtro horizontal:

$$B = \left(2 \times Q \times \frac{L}{Kfh} \right)^{0,5} \quad (7)$$

Em que:

B = Espessura do filtro horizontal, m;

Q = Vazão calculada pelo traçado das redes de fluxo;

L = Comprimento, m;

Kfh = Coeficiente de permeabilidade da areia no filtro horizontal.

- Para filtro vertical:

$$b = \frac{Q}{kfv} \quad (8)$$

Em que:

b = Espessura do filtro vertical, m;

Q = Vazão calculada pelo traçado das redes de fluxo;

kfv = Coeficiente de permeabilidade da areia no filtro vertical.

4.6 PIPING

Para Massad (2010), a água sempre procura o caminho mais fácil e este é o *piping*. A água vai passando e carreando os sólidos promovendo um fluxo contínuo até o colapso da barragem.

Conforme Massad, 2010 as argilas são em geral menos suscetíveis ao *piping*.

O critério de filtro de Tersaghi estabelece as seguintes condições a serem satisfeitas pelo filtro e pelo solo:

$$D_{15}(\text{filtro})/D_{85}(\text{solo}) < 4 \text{ ou } 5 \quad (9)$$

Para garantir a proteção contra *piping*, de acordo com Massad (2010):

$$D_{15}(\text{filtro})/D_{15}(\text{solo}) > 4 \text{ ou } 5 \quad (10)$$

Em que:

D_{15} = Diâmetro das partículas dos materiais do filtro;

D_{85} = Diâmetro das partículas dos materiais do solo.

5 CONCLUSÃO

As barragens de terra de pequeno porte se configuram como uma importante alternativa para o aproveitamento de água em época de maior escassez. A barragem pode ser utilizada para várias finalidades, tais como, irrigação, abastecimento de água, aproveitamento hidrelétrico, navegação, entre outros.

O trabalho disposto propiciou a conceituação e levantamento das particularidades e critérios técnicos que são empregados na elaboração de projetos para pequenas barragens de terra. Para a implantação de uma barragem de terra estável e segurança o primeiro passo é um bom projeto.

Em alguns estados brasileiros é comum a prática construtiva de barragens de terra de pequeno porte sem a elaboração e aprovação do projeto executivo conjunto ao órgão competente, mesmo com tal previsão regida por leis antigas. Tal ato tem originado episódios associados ao rompimento de barragens de terra, ocasionando em um grande desconhecimento quanto a segurança desse tipo de obra, prejuízos financeiros e perda de vidas.

O presente trabalho associa os critérios e pontos para dimensionamento de pequenas barragens de terra, orientando o melhor local a ser utilizado para implantação da barragem, as análises a serem feitas para escolha do melhor tipo de solo. E por fim a descrição de como calcular o volume de armazenamento de água, a altura e o perfil do barramento, as obras acessórias e o dimensionamento dos filtros, de tal modo, que fique claro e facilite a compreensão de dimensionamento de barragens de terra de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

- ANA. **Manual Prático de Pequenas Barragens**: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens. Agência Nacional de Águas, Brasília, ANA, SRE, 2016. 121p.
- BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 2 ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2003.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens** – Brasília: Secretaria de Infraestrutura Hídrica, 2002.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. 5 ed. ver. e ampl. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., 1985.
- CARVALHO, J. A. **Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação**. Lavras: Ed. UFLA, 2008.
- COSTA, W. D. **Geologia de Barragens**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- CULLEN, A. H. **Rios Prisioneiros**: A História das Barragens. Belo Horizonte: Ed. Editora Itatiaia Limitada de Belo Horizonte, 1964.
- FAO. **Manual sobre pequenas barragens de terra**. Guia para a localização, projecto e construção. Roma: Organização das Nações Unidas para a alimentação e a agricultura, 2011. 45 120p. (Publicação da FAO sobre Rega e Drenagem, 64). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-ba0081o.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2018.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- LOPES, J. D.; LIMA, F. Z. **Construção de Pequenas Barragens de Terra**. Viçosa, CTP, 2008.
- LORENSI, R. P.; ZARDO, K.; MATTAR, D. M.P.; NISHIJIMA, T. **A utilização dos recursos hídricos no sistema de irrigação por superfície (inundação) na cultura do arroz mediante as normatizações**. Paraná: Ambiência Guarapuava. V.6, n.2, 2010.
- MARZULLO, R. C.; FRANCKE, I.; MATAI, P. H. L. S. Pegada hídrica da água tratada: necessidade de água para a obtenção de água. In: **Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida em Produtos e Serviços**, 2, 2010, Florianópolis.

MASSAD, F. **Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia**, 2ª ed. Oficina de Textos, 2010.

MATOS, A. T.; SILVA, Demetrius David da; PRUSKI, Fernando Falco. **Barragens de Terra de Pequeno Porte**. Minas Gerais: UFV, 2012.

OLIVEIRA, A. M. D. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 2009. 587p.

PASCHOALIN FILHO, J. A. **Utilização de solo residual de diabásio como elemento de fundação e material de construção de aterros compactados para barragens de pequeno porte**. 2002. 171f. dissertação (Mestrado em Construções), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

PERINI, D. S. **Estudo dos Processos Envolvidos na Análise de Riscos de Barragens de Terra**. 2009. 149f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SANTOS, M. C. L. **USP, Universidade de São Paulo: Alma Mater Paulista, 63 anos**. São Paulo: EdUSP, 1998.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hídricas**. São Paulo, DAEE, 2005.

SOUZA, M. M. **Estudo para projeto geotécnico da barragem de Alto Irani**. 2013. 129f. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1997.