



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA - UFBA
ESCOLA POLITÉCNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SEGURANÇA DE BARRAGENS
ASPECTOS TÉCNICOS E LEGAIS

MÁRIO LOPES SANTANA FILHO

**DIAGNOSTICO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM DE
PEQUENO PORTE**

Salvador/Ba

2019

MÁRIO LOPES SANTANA FILHO

**DIAGNOSTICO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM DE
PEQUENO PORTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao
Curso de Especialização em Segurança de
Barragem, Aspectos Técnicos e Legais,
Universidade Federal da Bahia.

Orientador: Prof., Eng. Civil., M.Sc., Ph.D.
Carlos Henrique Medeiros

Salvador/Ba

2019

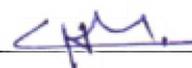
MÁRIO LOPES SANTANA FILHO

**DIAGNOSTICO DE SEGURANÇA EM BARRAGEM DE
PEQUENO PORTE**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Segurança de Barragem: Aspectos Técnicos e Legais da Universidade Federal da Bahia.

Aprovada em 31 de janeiro de 2019.

Prof. Dr. Carlos Henrique Medeiros - Orientador _____



PhD em Geotechnical Engineering pela University of Newcastle Upon Tyne, Inglaterra.
Universidade Federal de Feira de Santana - UEFS

Prof. Me. Luís Edmundo Prado Campos _____



Mestre em Engenharia Civil Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil.
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Salvador/Ba

2019

MÁRIO LOPES SANTANA FILHO

Dedico este trabalho, em especial em memória dos meus queridos Pais e que se estivessem aqui hoje seria motivo de muito orgulho para eles.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado mais essa vitória, agradeço também minha amada esposa Dalila Oliveira Nunes e minha filha Querida Évelin Nunes Santana, que me apoiaram nesta jornada, com amor e compreensão nas horas de em que estive ausente em função dos estudos e também não poderia deixar de agradecer aos amigos e colegas do curso que me apoiaram a concluir este curso.

Agradeço ao Professor M.Sc. Carlos Henrique Medeiros por ter me orientado nesse Trabalho de Conclusão de Curso com profissionalismo, conhecimento e dedicação.

A única coisa que um engenheiro deve ter medo é o desenvolvimento das condições de trabalho que não foram fornecidos.

Karl Von Terzaghi 1952

RESUMO

As pequenas barragens de terra são utilizadas em larga escala devido à sua fácil execução e baixo custo. O número de barragens de pequeno porte cresceu significativamente nos últimos 10 anos, elevando o índice de acidentes com barragens desse porte. Em decorrência dos acidentes com Cataguazes e Mirai/MG em meio a este cenário, foi criada a Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 que estabelece a política nacional de segurança de barragens. Procura-se reunir neste trabalho tópicos relevantes extraídos das normas técnicas, lei vigente e manuais técnicos, de forma a elencar e analisar os critérios por eles propostos e aplicáveis às pequenas barragens de terra. Através desse estudo, percebe-se que antes de proceder à elaboração de projeto e construção de barragens de pequeno porte, deve-se consultar todas as literaturas disponíveis, como leis, normas técnicas e manuais para que a elaboração da mesma atenda todos os requisitos necessários e legais. Além disso, é estritamente necessário classificar as barragens de pequeno porte, de forma a verificar o enquadramento das mesmas de acordo com as normas técnicas vigentes e as leis estabelecidas.

Palavras-chave: Barragem de pequeno porte; Segurança de barragem e Diagnostico de avaliação de barragem já construída.

ABSTRACT

Small earth dams are used in large scale due to their easy execution and low cost. The number of small dams has grown significantly in the last 10 years, raising the rate of accidents with dams of this size. As a result of the accidents with Cataguazes and Mirai / MG, in the midst of this scenario, Law No. 12,334 of September 20, 2010 was created that establishes the national policy for dam safety. In this work, relevant topics extracted from the technical norms, current law and technical manuals are sought in order to list and analyze the criteria proposed by them and applicable to small dams. Through this study, it is realized that before proceeding to the design and construction of small dams, it is necessary to consult all available literature, such as laws, technical norms and manuals so that the elaboration of the same meets all the necessary requirements and legal. In addition, it is strictly necessary to classify small dams, in order to verify their classification according to the current technical standards and established laws.

Keywords: Small dam; Safety of dam and Diagnosis of assessment of dam already built.

LISTA DE ILUSTRÇÕES

Figura 1	Barragem de concreto em arco.....	16
Figura 2	Barragem de gravidade em arco.....	17
Figura 3	Barragem em arco.....	18
Figura 4	Barragem de contraforte.....	29
Figura 5	Barragem de terra homogênea.....	20
Figura 6	Barragem de terra zoneada.....	21
Figura 7	Barragem enrocamento.....	22
Figura 8	Barragem de alvenaria de pedra.....	22
Figura 9	Barragem de madeira.....	23
Figura 10	Barragem de gabião.....	23
Figura 11	esquema seção típica de pequena barragem de terra.....	24
Figura 12	Esquema piezômetro.....	37
Figura 13	Nível freático quando não há fluxo d'água subterrânea.....	38
Figura 14	Nível freático e poro pressões quando há o fluxo d'água.....	38
Figura 15	Marco superficial instalado.....	39
Figura 16	Medidor de vazão.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agencia Nacional das Águas
COBRAE	Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
ANM	Agencia Nacional de Mineração
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
PAE	Plano de Ação de Emergência
NPB	Normas de Projeto de Barragem
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
SINIMA	Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNISB	Sistema Nacional de Informação de Segurança de Barragem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Generalidades	12
1.2	Justificativa	12
1.3	Objetivo	13
1.4	Metodologia	13
1.5	Estrutura do trabalho	14
2	BARRAGEM DEFINIÇÕES	15
3	TIPOS DE BARRAGENS E APLICAÇÃO	16
3.1	Barragem de concreto	16
3.1.1	<i>Barragem de gravidade em arco</i>	16
3.1.2	<i>Barragem de gravidade</i>	17
3.1.3	<i>Barragem de arco</i>	17
3.1.4	<i>Barragem de contraforte</i>	18
3.2	Barragens de terra	19
3.3	Barragem de terra homogênea	20
3.4	Barragem de terra zoneada	20
3.5	Barragem de Enrocamento	22
3.6	Outros tipos de barragens	22
4	PEQUENAS BARRAGENS	24
5	LEI 12.334/210	26
5.1	Categorias das barragens	26
5.2	Plano de segurança e plano de ação de emergência – PAE	27
5.3	Procedimento de emergência e segurança	28
5.4	Das responsabilidades	29
5.5	Da fiscalização	29

5.6	Das Atribuições.....	30
5.7	Âmbito e objetivos.....	31
5.7.1	<i>Responsável pela elaboração do projeto.....</i>	31
6	PROJETO DE BARRAGEM ASPECTOS GERAIS.....	32
6.1	Critérios de Projeto de Barragem.....	35
7	DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA.....	40
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
9	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

De acordo com a ANA (2015), no Brasil encontra-se em operação um número significativo de barragens de pequeno porte e um crescimento de 68% de novas construções dessas barragens nos últimos 10 anos, pertencentes a um grande elenco de proprietários. Tais barragens têm em sua maioria finalidades como, controle hídrico, irrigação mecanizada para produção de grãos, pecuária e abastecimento de água potável para consumo humano; geralmente não dispõem de qualquer tipo de instrumentação, não são submetidas a inspeções periódicas pelos órgãos fiscalizadores e nem por equipes orgânicas do próprio empreendimento com profissionais qualificados.

Conforme publicado pela FAO (2012), as pequenas barragens de terra são comumente construídas por ser de fácil construção e de custo baixo e têm sido usadas, desde os tempos mais remotos para acumular e desviar água. São simplesmente estruturas de terra compactadas que dependem da sua massa para resistir as infiltrações, deformações, erosões e rompimento. E são o tipo de barragem mais comum encontrado em todo o mundo.

1.2 Justificativa

Com a criação da Nova Lei de Barragem e o aumento significativo de construções de barragens de pequeno porte para uso múltiplo no setor da agropecuária e irrigação para produção de grãos, esse aumento de construções contribuiu para um elevado índice de acidentes com esse tipo de barragem. Embora essas estruturas pelas suas próprias características de pequeno porte possam não representar riscos de grande magnitude em caso de acidentes, aspectos específicos tais como, a falta de projetos, critérios técnicos para a construção e ocupação não controlada de vales a jusante ou o efeito dominó de rompimento de barragens construídas em série ao longo do mesmo curso de água, podem tornar significativo o potencial de risco de alguns desses empreendimentos.

Com a criação da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), considerando os aspectos referidos, além de outros, definiu atribuições e formas de controle necessárias para assegurar as condições de segurança das barragens. Com a criação dessa Lei, estabeleceu também a Agência Nacional das Águas (ANA), a ser o órgão responsável de organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informação de Segurança de Barragem (SNISB) e promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores das barragens de água para uso múltiplos de todas as naturezas.

Dessa forma cada barragem terá que ser avaliada individualmente de acordo com suas características técnicas, aplicando os critérios de avaliação que a lei determina para definir a sua classificação e as exigências a serem seguidas para garantir a segurança. Sendo assim, diante de tantas normas técnicas e leis estabelecidas, além de órgãos fiscalizadores específicos para cada uso de barragem; O trabalho reúne os aspectos legais e técnico de projeto estabelecidos a partir das normas e leis, para a elaboração de Diagnóstico de Segurança de Barragem de Pequeno Porte para atender as exigências dos órgãos fiscalizadores.

1.3 Objetivo

Neste contexto, o propósito dessa Monografia é apresentar estudos, informações técnicas e legais sobre aspectos gerais de segurança de barragem de pequeno porte. Tais aspectos envolvem os critérios de projeto e parâmetros geotécnicos para verificação da segurança necessária em barragens de pequeno porte para avalia-las de acordo com as normas técnicas em conformidade com a lei pertinente.

1.4 Metodologia

O estudo reuniu em uma primeira etapa, informações gerais a respeito das barragens para situar o leitor no cenário atual do tema, buscando reunir informações como tipos de barragens e suas aplicações. Em uma segunda etapa foram reunidas informações a respeito do tema de estudo, as barragens de pequeno porte. Após estas informações gerais, foram elencados todos os aspectos aplicáveis às barragens de pequeno porte, no que diz respeito às

leis vigentes, aos órgãos fiscalizadores, às medidas a serem tomadas para cumprir todas as exigências das normas, tanto para projeto, construção e segurança.

1.5 Estrutura do Trabalho

A estrutura do trabalho consiste em 8 (oito) capítulos. No capítulo 1, é apresentada a introdução do trabalho, que mostra as considerações gerais a respeito do tema estudado, a justificativa e importância para realização do mesmo, o objetivo e a metodologia utilizada. O capítulo 2 apresenta as definições gerais das barragens. No capítulo 3 são elencados os tipos de barragens e suas principais aplicações. Já o capítulo 4 apresenta uma revisão bibliográfica a respeito das barragens de pequeno porte, que é o tema central de estudo. O capítulo 5 apresenta a Lei 12.334/2010 e seus aspectos relevantes para a construção de barragens de pequeno porte. Os capítulos 6 e 7 apresentam os aspectos gerais de um projeto de barragem e os critérios de dimensionamento e segurança. As considerações finais relevantes ao estudo realizado são apresentadas no capítulo 8.

2 BARRAGEM DEFINIÇÕES

Uma barragem é uma estrutura em um curso de água, permanente ou temporário, para fins de contenção ou acumulação de água, de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos. Podem ser construídas para irrigação, produção de energia elétrica, abastecimento público, regularização de cheias, contenção de resíduos sólidos, abastecimento de indústrias agropecuárias, piscicultura e recreação, entre outros (PRANDI, 2013).

Barragens são projetadas e construídas com as seguintes finalidades, isoladas ou associadas, essas definidas como de “usos múltiplos”:

- Geração de energia hidrelétrica;
- Regularização da vazão dos cursos de água;
- Abastecimento doméstico ou industrial de água;
- Controle de inundações;
- Irrigação de áreas de plantio

(MARANGON, 2004).

De acordo com o Manual do empreendedor (ANA, 2015), as barragens, compreendendo o barramento, as estruturas associadas e o reservatório, são obras necessárias para uma adequada gestão dos recursos hídricos para todos os fins, uso múltiplos, contenção de rejeitos de mineração ou de resíduos industriais. *“A construção e a operação das barragens podem, no entanto, envolver danos potenciais para as populações e para os bens materiais e ambientais existentes no entorno.”* (ANA, 2015, grifo do autor).

3 TIPOS DE BARRAGENS E APLICAÇÃO

3.1 Barragem de concreto

A barragens de concreto podem ser construídas tanto com concreto armado, onde o processo é semelhante ao de outras estruturas civis utilizando formas e armação, quanto com concreto rolado, que é um tipo de concreto seco e compactado com traços especiais, conforme afirma (MARANGON, 2004).

De acordo com Prandi (2013), em sua obra literária, ele demonstra em suas explicações que as barragens de concretos elas se dividem em três tipos: barragem de concreto de arco, de gravidade e de contraforte.

3.1.1 Barragem de concreto em arco

A figura 01 a seguir mostra um dos tipos de barragem de concreto, a barragem de concreto em arco, esse tipo de construção e usada em locais de vales onde possibilita alturas medias e que oferece encaixe das ombreiras com segurança para garantir a foça de reação contra a força de compressão exercida pelo o arco do maciço.

Figura 01-Barragem de Concreto em arco



Fonte: Prandi (2013)

3.1.2 Barragem de gravidade

Segundo Barbosa, Almeida, Lício et al (2013), “*as barragens de gravidade são compostas por uma grande parede de concreto que resiste às forças e pressões exercidas pela água com seu próprio peso.*” (BARBOSA, ALMEIDA, LÍCIO ET AL, 2013, grifo nosso).

Logo, não há necessidade de construção de uma fundação extremamente profunda para este tipo de estrutura, devido as suas características. Deve ser composta de material maciço e de alta densidade, que é o caso do concreto, normalmente no formato em arco; embora este tipo de barragem seja altamente estável, sendo um dos mais resistentes entre todos, sua altura é limitada a aproximadamente 20 metros, dependendo do material utilizado em sua composição. Como esta limitação se dá pelo tipo de fundação, muito propensa a deslizamentos e tombamentos, como afirma (MARANGON, 2004). A figura 02 a seguir apresenta uma barragem de gravidade em arco.

Figura 02-Barragem de Gravidade em Arco



Fonte: Classificação de barragens e UHE (2016)

3.1.3 Barragem de arco

Este tipo de estrutura exige condições de terreno ímpares. O formato em arco transfere as forças e pressões exercidas para as extremidades, ou seja, as ombreiras. Conseqüentemente, tais forças são transferidas para as margens do rio, solicitando que tais margens sejam altas e constituídas de rochas resistentes aos esforços; Em questão de custo, a barragem de arco custa

menos em relação a concreto, já que necessita de uma menor quantidade do material. Porém, como precisa de um projeto mais elaborado para a construção, o preço da mão de obra pode ser mais elevado, como dizem, Barbosa, Almeida, Lício et al, (2013, p.31). “*É necessária uma escavação profunda para que se chegue nestas rochas.*” (BARBOSA, ALMEIDA, LÍCIO ET AL, 2013, grifo nosso). Uma barragem em arco é apresentada na figura 03 a seguir.



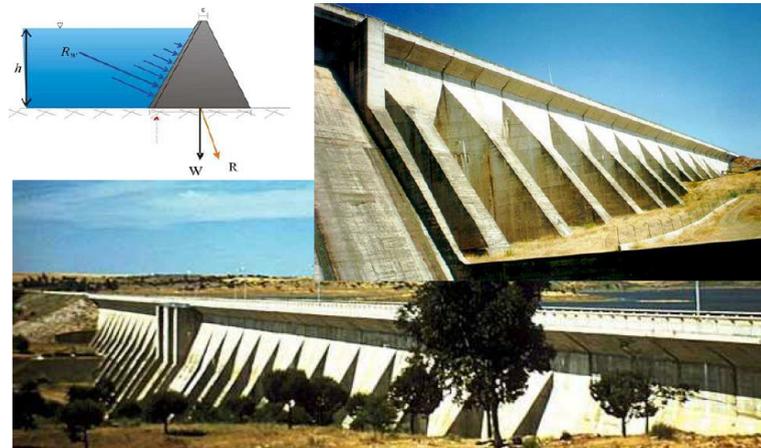
Fonte: Classificação de barragens e UHE (2016)

3.1.4 Barragem de contraforte

A barragem de contraforte é formada por uma laje impermeável a montante, apoiada em contrafortes verticais, exercendo compressão na fundação maior do que na barragem de concreto de gravidade. Sendo assim, a fundação onde será apoiada uma barragem de concreto com contrafortes deve ser rocha com elevada rigidez. Logo, os contrafortes suavizam a pressão sofrida pela barragem. Para as fundações, precisa-se de uma atenção especial, já que ocorre um aumento de compressão na área, requerendo projetos de mão de obra especializada. Embora possua um custo menor de concreto em comparação com a barragem de gravidade, a necessidade de um projeto especial e de um controle geológico maior nesta barragem eleva o custo da construção, como dizem, Sayão (2009) apud Barbosa, F., Almeida, G., Lício, J. et al (2013). Na figura 4, está apresentada uma barragem de contraforte.

“*A utilização de lajes de sustentação ao longo da barragem faz com que os esforços sejam direcionados a uma menor área da estrutura.*” (SAYÃO, 2009, APUD BARBOSA, F., ALMEIDA, G., LÍCIO, J. et al 2013, grifo nosso).

Figura 04-Barragem Contraforte



Fonte: Classificação de barragens e UHE (2016)

3.2 Barragens de terra

Em barragens de terra, é possível observar que estas sempre foram construídas para o armazenamento de água para controle hídrico, irrigação para produção de grãos, pecuária, industrial, captação de água potável para populações e dessedentação de animais. Porém, antigamente essas estruturas eram feitas sem critérios técnicos. As barragens eram construídas por métodos empíricos, sem o desenvolvimento de um projeto especializado. Isso ocasionou o histórico de diversas rupturas e acidentes neste tipo de estrutura (MARANGON, 2004).

Foi somente a partir de 1907 que foram criados os primeiros procedimentos racionais para a construção das barragens de terra, que possibilitaram o desenvolvimento de estruturas com alturas elevadas, como a de Nuozhadu, no Tajiquistão, com 261 metros de altura (PRANDI, 2013).

As barragens de terra possuem uma grande vantagem sobre as outras, já que podem se adaptar ao meio em que estão e ser construídas sobre a maioria dos tipos de fundações existentes. Além disso, pode-se fazer uso de quase qualquer tipo de solo em sua estrutura, utilizando os procedimentos de projeto e construção atuais, de acordo com (COSTA, 2012).

Entretanto, como dizem Barbosa, Almeida, Lício et al (2013), “*para sua construção necessita-se de uma avaliação de risco neste tipo de barragem, de modo a analisar as possíveis falhas através de sondagens geológicas-geotécnicas.*” (BARBOSA, ALMEIDA, LÍCIO ET AL 2013, grifo nosso).

3.3 Barragem de terra homogênea

De acordo com Marangon (2004), a barragem de terra homogênea é composta apenas por um único tipo de solo. Os taludes, a montante e a jusante devem ter inclinações de acordo com o perfil do solo. *“Este material necessita ser suficientemente impermeável, para que não ocorra a infiltração da água e, posteriormente, um vazamento.”* (MARANGON, 2004, grifo nosso). A figura 05 mostra uma barragem de terra homogênea.

Figura 05-Barragem Terra homogênea



Fonte: Prandi (2013)

3.4 Barragem de terra zoneada

A barragem de terra zoneada é formada por solos com características diversas. O material que possui maior coeficiente de permeabilidade deve ser utilizado nos taludes, enquanto o menos permeável deve constituir o núcleo central, tendo ação vedante. A figura 06 ilustra uma barragem de terra zoneada.

Em comparação com as barragens de terra homogêneas, as barragens zoneadas não apresentam uma grande vantagem. A escolha do tipo de barragem que será construída depende firmemente do tipo de solo presente no local, assim como a geologia e a topografia,

além dos custos econômicos para cada projeto (BARBOSA, ALMEIDA, LÍCIO ET AL 2013).

Figura 06-Barragem de Terra zonada



Fonte: Costa (2012)

3.5 Barragem de enrocamento

De acordo com Marangon (2004), a rocha que será utilizada para preencher a maior parte da barragem deve ser altamente resistente tanto ao intemperismo físico quanto químico, sendo dificilmente fragmentada ou desagregada. A organização dos blocos de rochas deve ser feita de modo que se obtenha o maior contato possível entre as superfícies, preenchendo os vazios entre elas com materiais de menor escala. Na figura 07 está apresentada uma barragem de enrocamento.

“Esse tipo de barragem é aquele em que são utilizados blocos de rocha de tamanho variável e uma membrana impermeável na face de montante.” (MARANGON, 2004, grifo nosso).

Figura 07-Barragem de Enrocamento



Fonte: Costa (2012)

3.6 Outros tipos de barragens

As mais conhecidas são: barragem de alvenaria de pedra, que está ilustrada na figura 08 a seguir, de madeira, mostrada na figura 09, e de gabião, apresentada na figura 10. A barragem de alvenaria de pedra é uma variação da barragem de concreto de gravidade, onde as pedras, ordenadas e rejuntadas manualmente, substituem o concreto. Barragens de madeira necessitam de um tipo de madeira de alta resistência e qualidade, junto com uma chapa de aço para a vedação total da estrutura. As barragens de Gabião tem como objetivo principal o barramento, sendo construídas em cursos de água. Sua estrutura, composta de pedras, pode variar de acordo com o local em que será implantada, podendo ser dimensionada em degraus, verticalmente ou em inclinação (COSTA, 2012).

Figura 08-Barragem Alvenaria de pedra



Fonte: Costa (2012)

Figura 09-Barragem de Madeira



Fonte: Costa (2012)

Figura 10-Barragem de Gabião



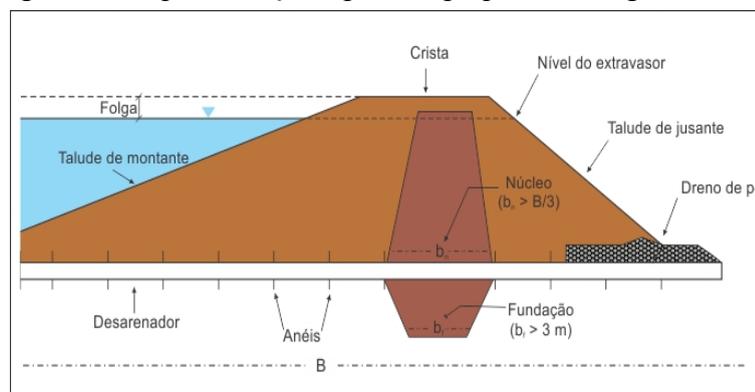
Fonte: Costa (2012)

Conforme visto acima e as ilustrações mostram os tipos de barragens de pouco uso no Brasil e de custo mais baixo.

4 PEQUENAS BARRAGENS

Métodos modernos utilizados na área de obras de terra, técnicas de compactação, etc., com desenvolvimentos no campo da mecânica dos solos desde o Século XX, aumentaram consideravelmente a segurança e vida destas estruturas. As principais vantagens envolvidas na construção de pequenas barragens de terra são: utilização de materiais naturais locais, os procedimentos do projeto são simples, comparativamente são necessários pequenos ativos fixos tangíveis, ou seja, ocupam pequenas áreas. Os requisitos para as fundações são menos exigentes do que para outro tipo de barragens. A base larga de uma pequena barragem de terra distribui a carga nas fundações e garante a estabilidade da mesma, conforme demonstra a seguir a figura esquemática de nº 11, seção típica de uma pequena barragem de terra com núcleo de argila:

Figura 11-esquema seção típica de pequena barragem de terra



Fonte: FAO (2011)

“Barragens de terra resistem ao assentamento e movimentos melhor do que estruturas mais rígidas e podem ser mais adequadas para áreas onde os movimentos do solo são comuns.” (FAO,2011, grifo nosso)

No entanto, também existem desvantagens e estas são: Uma barragem de terra é mais fácil de ser danificada ou destruída pela água corrente, passando sobre/galgando ou batendo contra o seu maciço. Assim, um descarregador/vertedor bem dimensionado e proteção adequada a montante são essenciais para qualquer barragem. As barragens de terra requerem manutenção contínua de forma a evitar erosão, crescimento de árvores, sedimentação, infiltração e danos provocados por insetos e animais. Por outro lado, o fato de uma barragem

estar em operação há longo tempo não é garantia de sua segurança já que tanto a barragem quanto suas fundações estão sujeitas a um lento processo de deterioração devido a diversos fatores tais como variações de temperatura, alterações físico-químicas, reações álcali-agregado e os ciclos de enchimento e esvaziamento. Torna-se, assim, recomendável que os proprietários de pequenas barragens em operações submetam tais estruturas a uma análise de riscos e a uma avaliação de estabilidade e segurança (LACERDA, 2016).

De acordo com a ANA (2015), uma pequena barragem, ou barragem de pequeno porte é uma estrutura em um curso de água, permanente ou temporário, para fins de contenção ou acumulação de água, de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos. No entanto, a criação de pequenos reservatórios está frequentemente associada a pequenas explorações agrícolas ou a abastecimento de pequenas comunidades, com orçamentos limitados para a caracterização do local de implantação, o projeto, a construção e a operação.

“As principais componentes de uma pequena barragem são a estrutura de retenção ou barramento, dispositivos de segurança, a sua fundação e as ombreiras, a zona vizinha a jusante, as estruturas extravasoras, as estruturas de adução e o reservatório.” (ANA, 2015, grifo nosso).

Embora sejam consideradas barragens de pequeno porte utilizadas geralmente para usos múltiplos, irrigação, abastecimento para consumo humano e dessedentação de animal. A operação dessas barragens corresponde, em geral, às rotinas de monitoramento e controle dos níveis d'água ou das vazões a jusante adequados ao atendimento dos usos que são feitos e das condições de segurança da barragem. Estão submetidas aos rigores e controles da lei de barragem de acordo com sua classificação de categoria de risco e dano potencial, conforme determina a nova lei de barragem, Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 (ANA, 2015).

5 LEI 12.334/2010

Pode se dizer que uma pequena barragem sob a designação da lei tem sua altura do barramento menor ou igual a 15,00 m e sua capacidade de volume igual ou inferior a 3000.000 m³. A Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, foi criada com objetivo de estabelecer conformidade de natureza técnica e definições de responsabilidades nas ações eventuais.

A Lei define, considerando-se os impactos desses empreendimentos sobre a população afetada, residentes a jusante, as responsabilidades dos atores envolvidos, detalhando os papéis do empreendedor e a quem caberá garantir os recursos necessários à segurança de barragens. A objetividade dessa lei de segurança de barragem, deixar de forma clara os deveres e obrigações do empreendedor, inibe entendimentos subjetivos e viés jurídicos, de forma a acabar com a impunidade do responsável legal (ROCHA, 2010).

5.1 Categorias das barragens

As categorias das barragens conforme determinam a lei 12.334/2010 e definida de acordo com as características físicas. No capítulo I, das disposições gerais, o artigo 1º, itens I a IV a lei define com objetividade essas Categorias das barragens.

CAPÍTULO I

DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 1º Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Parágrafo único. Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

I - Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

II - Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.

(BRASIL, 2010).

Como citado na íntegra no capítulo I das disposições gerais, artigo 1º, itens I a IV, a lei define de forma objetiva e clara as categorias das barragens de acordo com suas características, ficando a observância do Art. 6º dos seus instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), para classificação categoria de risco e por dano potencial associado, a vida humana, ao meio ambiente e ao patrimônio.

5.2 Plano de segurança e plano de ação de emergência – PAE

De acordo com o Capítulo IV dos Instrumentos da LEI Nº12.334/2010, o Plano de Segurança de uma Barragem deve seguir conforme determina a lei de acordo com a classificação de risco e dano potencial associado de cada barragem. O Plano de Ação de Emergência (PAE), deverá ser observado o critério de risco a jusante, para sua criação e implantação, conforme demonstra a seguir o referido capítulo:

CAPÍTULO IV DOS INSTRUMENTOS

Art. 6º São instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - O sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;

II - O Plano de Segurança de Barragem;

III - O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

IV - O Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SINIMA);

V - O Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

VI - O Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;

VII - O Relatório de Segurança de Barragens.

Seção I

Da Classificação

Art. 7º As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

§ 1º A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem.

§ 2º classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem, (LEI Nº12.334/2010).

(BRASIL, 2010).

Como visto o Capítulo IV, detalha em seus mecanismos instrumentais os procedimentos a serem cumpridos pelo responsável do empreendimento é que todas as

barragens mesmo aquelas com características de uma pequena barragem, na fase de implantação do plano de segurança de barragem, bem como na implantação do Plano de Ação de Emergência (PAE). Para implantações desses instrumentos a lei determina que cada empreendedor faça avaliação de classificação de categoria de risco e dano potencial associado, para que seja definido a classificação da barragem. Essa classificação é feita de acordo com o quadro matriz padrão, fornecido pelo Conselho Nacional de Recurso Hídrico (CNRH), através da resolução N° 143. De acordo com a classificação da barragem fica a cargo do agente fiscalizador, o poder de determinar as observações e medidas de recomendações conclusivas para implantação do sistema ideal de segurança de barragem. Dessa forma cada barragem terá que ser avaliada individualmente de acordo com suas características técnicas, aplicando se os critérios de avaliação que a lei determina.

5.3 Procedimento de emergência e segurança

Quando as pequenas barragens sofrem rupturas, a água represada pode ser liberada e provocar graves consequências. O guia de segurança do manual do empreendedor contém um conjunto de ações recomendadas em caso de emergência, que visa fundamentalmente socorrer as pessoas e proteger os bens em perigo, e que incluem medidas minimizadoras das consequências a jusante, a informação imediata dos responsáveis pela Defesa Civil e do regulador, o aviso aos operadores das barragens a jusante e à população a jusante, e, se possível, a promoção da descida do nível da água no reservatório (ANA, 2015).

O presente guia deverá ser seguido para as restantes pequenas barragens. Indica as possíveis situações de alerta e de emergência em face, respectivamente, de um incidente, anomalia suscetível de afetar, em curto ou longo prazo, a funcionalidade da obra e que implica a tomada de medidas corretivas para evitar um acidente. Ocorrência excepcional cuja evolução não controlada é suscetível de originar uma onda de inundação, os procedimentos após a sua identificação, as ações preventivas e corretivas a serem executadas pelo proprietário em caso de situação de emergência, bem como os agentes a serem notificados dessa ocorrência (ANA, 2015).

Em termos de ocorrências excepcionais naturais exteriores, as mais relevantes em pequenas barragens são as associadas a cheias causadas por precipitações intensas, devendo-se considerar que se atinge uma situação de alerta sempre que a borda livre de

projeto não está garantida, ou sempre que esta é inferior a 1 m, ou ocorre ou está prevista a ocorrência de precipitação de grande intensidade na bacia hidrográfica da barragem com o nível da água no reservatório próximo do nível máximo normal. A situação de emergência deverá ser considerada sempre que ocorre, em qualquer local e com qualquer lâmina de água, galgamento da barragem (ANA, 2015).

De acordo com a ANA (2015), o presente guia aplica-se às situações de alerta causadas por incidentes e de emergência provocadas por acidentes, as quais podem ser causadas por: *“por ocorrências excepcionais naturais exteriores à barragem (tempestades e cheias devido a precipitações intensas); pela ruptura de barragens a montante; pelas circunstâncias anômalas de comportamento identificadas como situações de alerta (classificadas com a prioridade E).”* (ANA, 2015, grifo nosso).

5.4 Das responsabilidades

De acordo com a nova lei de segurança de barragem define com clareza e objetividade nos itens mencionados nos seus artigos, para que todos tenham entendimento único da importância do que se refere a lei, ficando de forma definida a responsabilidade do empreendedor, de forma que não haja dúvidas nos cumprimentos das obrigações conforme determina a lei. O empreendedor tem a obrigação por lei de gerir, promover e manter o que for necessário para o bom funcionamento e desempenho do sistema de segurança nas fases de implantação, gestão e na fase de operação até seu fechamento de vida útil, de acordo com sua classificação de risco e dano potencial associado a jusante.

5.5 Da fiscalização

A descentralização das responsabilidades de fiscalizar deixou a cargo de cada órgão as suas competências, que se divide entre 4 (quatro) grupos, de acordo com a finalidade e classificação da barragem, onde o agente fiscalizador tem o poder de decisão para definir e implantação do que melhor e convier: 1º) barragens para geração de energia, fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel); 2º) para contenção de rejeitos minerais,

fiscalizadas pelo DNPM; 3º) barragens para contenção de rejeitos industriais, sob responsabilidade do SISNAMA e órgãos ambientais estaduais e 4º) as de usos múltiplos, sob fiscalização da Agência Nacional de Águas (ANA) ou de órgãos gestores estaduais de recursos hídricos (ÁVILA, 2012).

5.6 Das atribuições

De acordo com a ANA (2015) o Manual do Empreendedor é um instrumento importantíssimo no controle da estabilidade e segurança das barragens. Em conformidade com a Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que atribui ao proprietário de barragem ser o responsável direto e único. O Manual do Empreendedor estabelece e propõem de forma obrigatória aos referidos proprietários empreendedores de barragens, normas diretrizes e critérios de projetos a serem seguidos, conforme determina a lei vigente e as normas nacionais e internacionais. Os proprietários são os responsáveis, ao longo das diversas fases da vida das obras, designadamente, as fases de planejamento e projeto, de construção e primeiro enchimento, de operação e de descomissionamento (desativação),

“No presente Manual do Empreendedor pretende-se estabelecer orientações gerais quanto às metodologias e procedimentos a adotar pelos empreendedores, visando assegurar adequadas condições de segurança para as barragens.” (ANA, 2015, grifo nosso)

E ainda, conforme visto com a ANA (2015) a Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, conhecida por Lei de Segurança de Barragens, estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), considerando os aspectos referidos, além de outros, e definiu atribuições e formas de controle necessárias para assegurar as condições de segurança das barragens. No Brasil, os empreendedores são de diversas naturezas: públicos (federais, estaduais ou municipais) e privados, sendo a sua capacidade técnica e financeira, também, muito diferenciada.

“A Lei de Segurança de Barragens atribui aos empreendedores e aos responsáveis técnicos a responsabilidade de desenvolver e implementar o Plano de Segurança da Barragem, com metodologias adequados para garantir a segurança necessárias.” (ANA, 2015, grifo nosso).

5.7 Âmbito e objetivos do projeto

De acordo com o presente Guia estabelecem-se os princípios gerais que, do ponto de vista da segurança, devem orientar o empreendedor e o projetista por ele contratado, na elaboração de projetos de barragens. Dessa forma o uso de critérios diferentes dos indicados pode, eventualmente, ser apropriado ou não, deverá ser de acordo com as condições específicas de alguns empreendimentos e visando, muitas vezes, à aplicação de novos conhecimentos, de técnicas melhoradas de projeto, construção e de avaliação da segurança de barragens (ANA, 2015).

5.7.1 Responsável pela elaboração do projeto

Conforme relata a ANA (2015), em seu Manual a lei 12.334/2010, de forma objetiva para garantir a segurança, determina que para elaboração e execução de projeto de barragem, *“o responsável técnico deve ter registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – CREA, com atribuições profissionais correspondentes e ter ART ‘Anotação de Responsabilidade Técnica’ registrada no CREA da região, onde se desenvolve o Projeto.”* (ANA, 2015, grifo nosso)

6 PROJETO DE BARRAGEM ASPECTOS GERAIS

De acordo com DNOCS (1981), para realizar projetos de barragens devem ser feitos estudos geotécnicos, os quais buscam em primeiro lugar, a identificação de jazidas de materiais de construção, para as quais devem ser retiradas amostras e realizados de ensaios de laboratório, afim da obtenção das características do solo a ser utilizado no corpo da barragem, tanto no maciço, nos filtros e na proteção dos taludes. *“Os estudos das jazidas variam de região para região. Eles dependem de uma série de fatores e envolvendo profissionais das mais diversas áreas de conhecimento.”* (DNOCS,1981, grifo nosso).

Os profissionais buscam escolher o material mais adequado para atender a necessidade de determinada obra, o que proporcionalmente garante um maior fator de segurança para a população como um todo através do conhecimento do meio físico, do solo. Na construção do maciço de uma barragem de terra serão utilizados os materiais investigados nas jazidas, cujas propriedades venham a atender as características técnicas pré-selecionadas para execução do mesmo (DNOCS,1981).

De acordo com Marinho (2005), investigação na Geotecnia, mais especificamente voltada para maciço de barragem, tem como objetivo avaliar as condições geológicas e dos solos que afetam a segurança, o custo, o projeto e a execução do mesmo ou remediações, *“A engenharia geotécnica não difere das demais ciências e teve o seu desenvolvimento ligado a muita investigação.”* (MARINHO, 2005, grifo nosso).

No Brasil, a construção de barragens, estradas, metrô e fundações em geral, geraram uma sólida base de conhecimento que teve a colaboração fundamental de recursos utilizados para realizar investigações. Isto, associado ao fato de que nas empresas públicas o papel do engenheiro geotécnico era fundamental para o desenvolvimento dos projetos e para a definição das ações investigativas. (MARINHO, 2005)

Como visto a investigação geotécnica em qualquer tipo e finalidade de obras civis é de extrema importância e necessária para garantir o desenvolvimento de todas as etapas e fases do projeto até a sua concepção final. É o primeiro critério de projeto a ser executado, pois é através dos seus resultados que obtém-se informações importantíssimas para determinar parâmetros, índices e valores numéricos que são determinantes para a realizações de cálculos, determinação de modelos numéricos para definir tipos de fundações a ser implantado na obra,

de forma a atender as normas técnicas e garantir a segurança, estabilidade e a vida útil da obra, conforme anais do (MARINHO, 2005).

De acordo com o Manual do empreendedor ANA (2015), os projetos de barragem devem seguir suas etapas e fases de estudos, conforme determinas as normas e mostrado no texto.

ETAPAS DOS ESTUDOS E PROJETOS

O projeto, nas suas diversas etapas, deve basear-se em estudos nos quais os problemas de segurança tenham sido devidamente considerados, de acordo com o porte da barragem e com a classe de dano potencial associado que lhe for atribuída. A segurança das barragens deve considerar aspectos estruturais, hidráulicos, operacionais e ambientais.

2.2 Estudos preliminares e de viabilidade

2.2.1 Estudos preliminares

Na fase de Estudos Preliminares são estudadas, sumariamente, alternativas de localização e de porte da barragem e do seu reservatório. São estimados, em primeira aproximação, os benefícios, os custos e os prazos de implantação das obras, bem como os impactos ambientais e os possíveis custos de mitigação desses impactos. A viabilidade ambiental do projeto é um aspecto fundamental para o seu prosseguimento em fases posteriores, com maior investimento nos estudos de base, tais como, nos levantamentos topográficos, prospecções geológicas e geotécnicas, ensaios de materiais, medições e estudos.

Nessa fase devem ser mencionadas as possibilidades de a barragem servir a finalidades múltiplas, maximizando seus benefícios ambientais e sociais.

A primeira fase de um projeto de barragem deve incluir uma inspeção aos locais alternativos para sua implantação, por equipe multidisciplinar, incluindo, no mínimo, engenheiros civis com experiência em geotecnia, hidráulica, hidrologia e construção, e ainda geólogo de engenharia e especialista em meio ambiente.

Em cada local alternativo recomenda-se que, nessa fase:

- Seja realizado um mapeamento geológico de superfície apoiado por geofotointerpretação;
- O estudo hidrológico defina uma série de descargas médias mensais e seja estimada a descarga de projeto dos órgãos extravasores.
- As estruturas civis e os equipamentos permanentes sejam dimensionados e quantificados com base em soluções tradicionalmente adotadas em projetos do tipo em estudo.

2.2.2 Estudos de viabilidade

Esses estudos têm por objetivo a caracterização da viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação, bem como a operação da barragem e de seu reservatório.

Para tanto se torna necessário o conhecimento da valoração dos benefícios econômicos e sociais conferidos pela barragem (ainda que calculados em termos estatísticos), em termos presentes e em cenários futuros, os custos de implantação, de comissionamento, de operação, de manutenção da barragem, e ainda os custos ambientais (incluídos os custos de implantação e manutenção dos programas ambientais e das medidas mitigadoras e compensatórias), ao longo da vida útil da barragem e do reservatório. Todos os itens indicados devem ser monetariamente valorados, de modo a ser possível estabelecer um fluxo de caixa, englobando investimentos e benefícios ao longo do tempo.

Os custos de construção devem ser baseados na seleção de uma alternativa de projeto, considerando o tipo de barragem e de seus órgãos extravasores e de operação, como tomada de água e casas de força, além de outras estruturas que vierem a ser necessárias, tais como, órgãos e equipamentos para transposição de peixes, eclusas de navegação, descarregadores de vazões ecológicas ou sanitárias e outros.

As alternativas de projeto da barragem devem ser desenvolvidas, de modo a ser possível estimar os custos de construção civil e fabricação, transporte e montagem dos equipamentos permanentes. Devem também ser estimados os custos dos acessos, das instalações de canteiro de obra e de acampamento, e da manutenção dessas instalações, bem como da engenharia de projeto e engenharia do proprietário, de desapropriações, do suprimento de energia elétrica, dos seguros e dos juros.

Nessa fase são desenvolvidos os levantamentos de campo, os ensaios de laboratório e estudos ambientais visando à elaboração do EIA/RIMA (se necessário) e a obtenção da Licença Prévia. Recomenda-se que, de início, seja emitido um Relatório de Planejamento Ambiental, contendo a descrição do empreendimento, os processos construtivos, a infraestrutura de canteiro de obra, o cronograma de execução e ainda termo de referência para os estudos ambientais, objetivando a obtenção da Licença Prévia. Sugere-se que os levantamentos de campo envolvam pelo menos uma estiagem e uma época chuvosa. Caso venha ser demandado pela legislação ou pela entidade licenciadora, nessa fase são preparados documentos para a realização de fóruns ambientais e audiência(s) pública(s).

O Estudo de Viabilidade deve ser constituído por peças escritas e desenhadas e outros elementos de informação, de modo a possibilitar a apreciação das soluções preconizadas, incluindo aspectos de segurança, e assim permitir a sua comparação e a tomada de decisões.

(ANA, 2015).

Como visto no texto o projeto de uma barragem deve seguir suas fases de estudos para cada etapa de projeto, na fase inicial os estudos preliminares deve seguir um controle rigoroso das informações obtidas de forma não haver desvios e perdas de dados, para não influenciar nos resultados dos estudos posteriores, os estudos de viabilidade de contemplar todos os aspectos favoráveis e desfavorável do projeto como todo. O projeto nas suas diversas etapas deve basear-se em estudos nos quais os problemas de segurança tenham sido devidamente considerados de acordo com o porte da barragem e com a classe de dano potencial associado que lhe for atribuída. A segurança das barragens deve considerar aspectos estruturais, hidráulicos, operacionais e ambientais.

E ainda, conforme o Manual do empreendedor ANA (2015), os projetos de barragem devem seguir suas etapas e após as fases de estudos iniciais inicia-se a fase de projetos conforme determina as normas e mostrado no texto.

Projeto básico

No inciso IX do art. 6º, Seção II das definições, da Lei nº 8.666 de 21 de junho de 1993 é incluída a seguinte definição de Projeto Básico: “conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, ou complexo de obras ou serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução, devendo conter os elementos.

Assim, o Projeto Básico de uma barragem deve ser constituído por peças escritas desenhadas e outros elementos de estudo, tais como, o estudo de materiais de construção, resultados de ensaios de laboratório ou de campo, relativos à definição final e respectivo dimensionamento, uma proposta de canteiro, com o modo de construção das obras, critérios de medição e as medições, quantitativos e orçamento finais e as especificações técnicas, de modo a, eventualmente, fazer licitação e poder iniciar-se a construção da obra.

2.4 Projeto executivo

No inciso X do art. 6º, Seção II, da Lei nº 8.666 de 21 de junho de 1993 é definido o Projeto Executivo da seguinte forma: “o conjunto dos elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, de acordo com as normas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT”. Tal como para o Projeto Básico, esta definição do Projeto Executivo é considerada adequada para o projeto de barragens, quer do setor público, quer do setor privado. O Projeto Executivo, por se constituir no detalhamento do projeto básico, principalmente nas obras maiores é realizado durante a construção, uma vez que as condições reais encontradas na implantação podem otimizar custos importantes. Nas obras menores, a sua antecipação visa complementar o projeto básico e dar maior confiabilidade no orçamento antecipado da implantação. No Projeto Executivo devem ser detalhadas as soluções preconizadas no Projeto Básico das obras civis e dos equipamentos hidromecânicos e elétricos, confirmando-se a sua exequibilidade e adaptando-as às condições reais encontradas durante a construção, baseados em novos dados de campo obtidos, quer através da observação das condições topográficas existentes, quer de investigações geotécnicas adicionais, ou através de dados de instrumentação instalada durante a construção. Soluções alternativas às desenvolvidas no projeto básico só devem ser consideradas se novos dados surgirem durante a construção que inviabilizem ou apresentem vantagens técnicas, econômicas ou de prazo.

2.5 Projeto final como construído (as built)

Após a conclusão da construção, o empreendedor promoverá a obtenção de um documento que se intitulará “Projeto Final como Construído” e que será parte integrante do Plano de Segurança da Barragem. Este projeto, que deve estar disponível para análise da entidade fiscalizadora, sempre que está assim o entenda. (ANA, 2015).

De forma a atender os normas e as leis pertinentes, os projetos básico, executivo e as built, tem uma sequência lógica para cada etapa do projeto de construção de uma barragem, o projeto básico e feito em simultaneidade com o projeto executivo. O projeto executivo de uma barragem deve ser constituído por Memorial Descritivo com as justificativas das soluções adotadas (adaptação/refinamento de critérios de projeto e memórias de cálculo) e desenhadas de fácil e inequívoca interpretação que irão permitir a construção da obra. O documento designado de projeto “as-built” ou “como construído” é elaborado ao longo da construção e entregue após conclusão da obra, baseando em relatórios, diários e históricos da fase de construção da obra e estruturas complementares.

6.1 Critérios de Projeto de Barragem

Para elaboração de projeto de Barragem faz-se necessário observar os critérios que as normas nacionais e internacionais recomendam para garantir a estabilidade e a segurança, atendendo as exigências da nova Lei 12.334/2010. De acordo com o Guia de Projetos de Barragens e com o Manual do Empreendedor, publicado pela Agencia Nacional das Águas (ANA, 2015), tais como.

Critérios de Projeto de Barragem

- Elementos Base e Estudos Gerais do Projeto
- Barragens de Aterro (terra)
- Barragens e outras Estruturas de Concreto
- Órgãos Extravadores e de Operação
- Reservatório e Área a Jusante
- Controle de Segurança

Elementos Base e Estudos Gerais do Projeto

No qual se apresentam os estudos básicos, visando obter os elementos a incluir nos projetos, designadamente, elementos gerais, estudos hidrológicos, geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e sismológicos, bem como estudos relativos à borda livre, ao desvio do rio, às escavações e ao tratamento de fundações.

Barragens de Aterro (terra)

No qual se apresentam, além de alguns aspectos gerais a se ter em conta no projeto, os estudos a desenvolver, tais como, os relativos aos materiais de construção, aos maciços de fundação e às estruturas (fatores que influenciam a escolha do tipo estrutural e tipos de barragens mais comuns), seguindo-se considerações sobre o dimensionamento e verificação da segurança das barragens.

Barragens e outras Estruturas de Concreto

No qual se apresentam os aspectos fundamentais e os elementos de projeto essenciais a considerar no dimensionamento das barragens de concreto e de outras estruturas de concreto (como as estruturas dos órgãos extravadores e de operação, e outras.), os estudos a desenvolver para as fundações e respectivos tratamentos, bem como para os materiais (concreto massa, concreto armado e aço perfilado com concreto), seguindo-se considerações sobre a segurança global das estruturas e sobre o dimensionamento e verificação da segurança. Finalmente, apresentam-se disposições construtivas essenciais a se ter em consideração no projeto das estruturas de concreto.

Órgãos Extravadores e de Operação

Onde se apresentam disposições essenciais de projeto e dimensionamento hidráulico dos órgãos extravadores e de operação, designadamente, do vertedouro, do descarregador de fundo, das estruturas de dissipação de energia, das tomadas de água e circuitos hidráulicos. Finaliza-se com a apresentação de outros problemas hidráulicos a contemplar no projeto, como, por exemplo, erosão por cavitação ou abrasão por sólidos.

Reservatório e Área a Jusante

No qual se apresentam os aspectos essenciais a considerar no dimensionamento do reservatório, incluindo os estudos de remanso, de avaliação da sua vida útil, da qualidade da água, bem como aspectos a considerar no cadastramento da área do reservatório e no estudo da zona inundável a jusante, em caso de ruptura da barragem

Controle de Segurança

No qual se apresentam os aspectos essenciais a se ter em consideração no controle de segurança, envolvendo o monitoramento e instrumentação, as inspeções de segurança e a análise, interpretação e avaliação do comportamento da barragem. São dadas indicações sobre o conteúdo do plano de monitoramento e instrumentação, designadamente sobre as grandezas a serem monitoradas, a seleção dos instrumentos, o conteúdo do projeto de instrumentação, os critérios de operação, os procedimentos para processamento e análise de dados e resultados, e a manutenção do sistema de instrumentação. Finalmente, referem-se, de forma integrada, as atividades necessárias ao controle da segurança, conforme mostra as ilustrações a seguir.

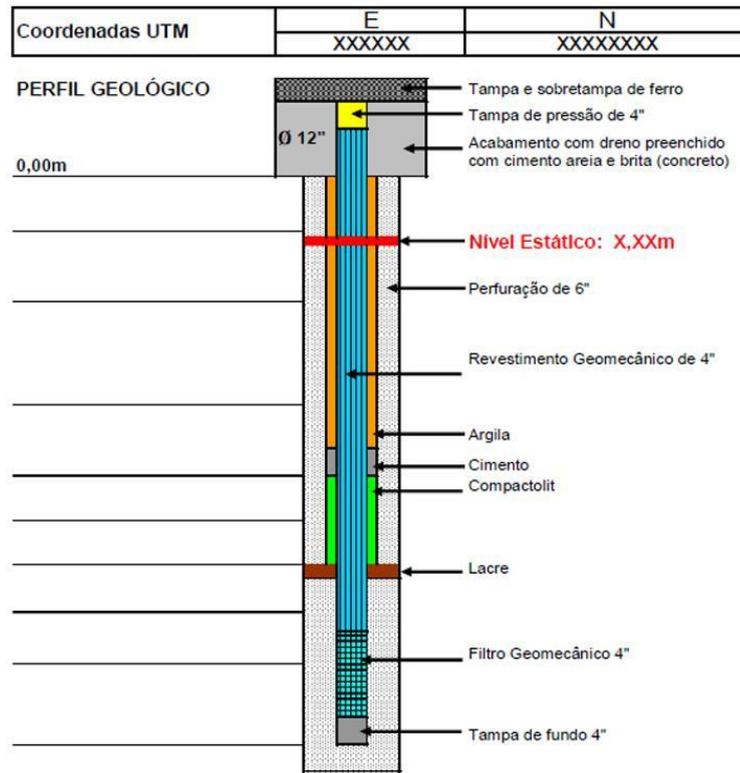
(ANA, 2015).

A título de ilustração, as pequenas barragens podem também dispor de uma instrumentação básica, com o objetivo de monitorar o seu desempenho, ao longo de sua vida útil. Dentre os instrumentos utilizados, os mais usuais são os piezômetros, marcos

superficiais, e medidores de vazão. As figuras 12 a 16 a seguir apresentam, com detalhe, os equipamentos e instrumentações adequadas para atender um plano básico de monitoramento e inspeção de uma barragem, conforme citado no texto acima:

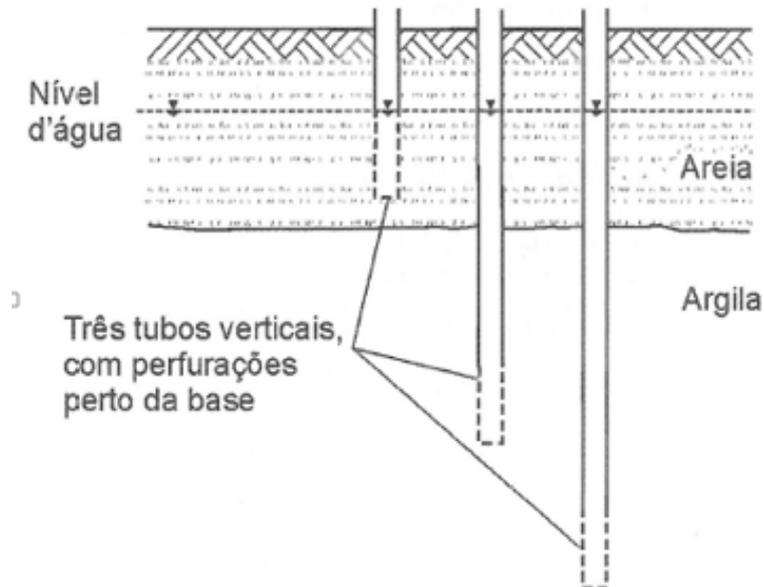
- **Piezômetro**, os piezômetros podem ser do tipo stand pipe ou de Casagrande, hidráulico, pneumático, de corda vibrante elétrico. A função dos piezômetros é fornecer a carga de pressão no ponto em que foi instalado. Conhecida a carga de pressão, calcula-se a carga total naquele ponto,
- **Marco Superficial**, o objetivo da instalação dos marcos superficiais é o acompanhamento dos deslocamentos verticais e horizontais do maciço em relação a uma referência indeslocável. Os deslocamentos horizontais são medidos através de colimações geodésicas, enquanto que os deslocamentos verticais (recalque) serão medidos através de nivelamento de precisão.
- **Medidor de Vazão**, o medidor de vazão é utilizado para se obter o valor da vazão que percola através do sistema de drenagem da barragem e de sua fundação, coletados por tubulações ou canaletas. O tipo mais comum que se utiliza é o medidor triangular. A vazão é determinada com a utilização da equação de regime de escoamento uniforme em condutos livres.

Figura 12- Esquema piezômetro



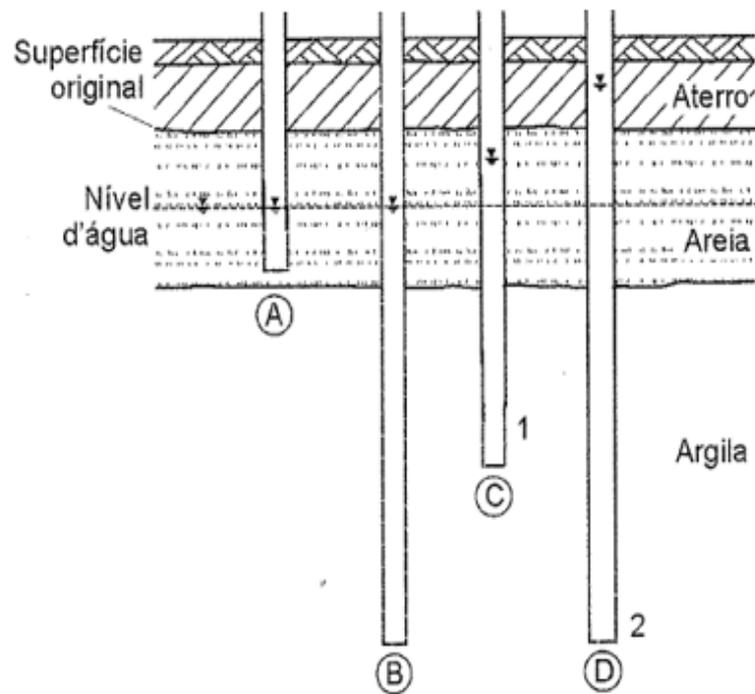
Fonte: Coelho (2017)

Figura 13 - Nível freático quando não há o fluxo d'água subterrânea



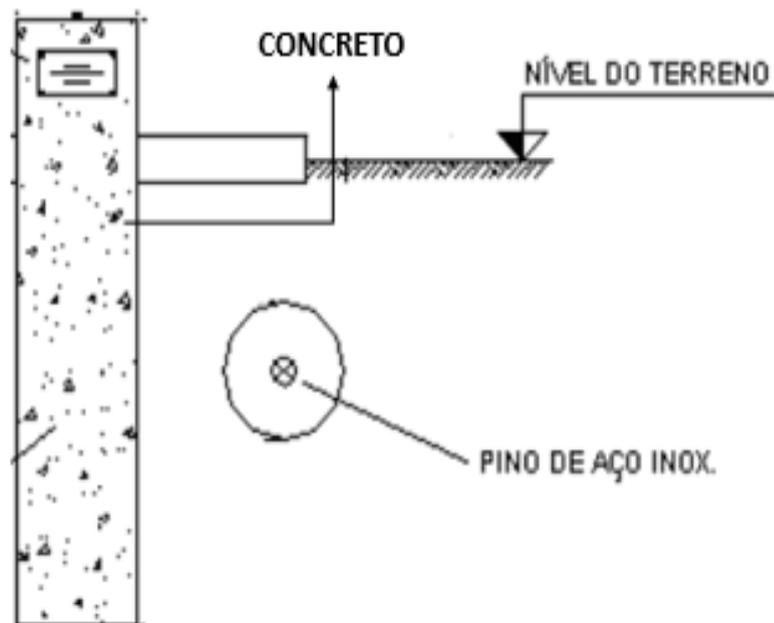
Fonte: Coelho (2017)

Figura 14 - Nível freático e poro pressões quando há o fluxo d'água



Fonte: Coelho (2017)

Figura 15- Marco Superficial instalado



Fonte: Coelho (2017)

Figura 16- Medidor de Vazão



Fonte: Coelho (2017)

Como visto no texto acima, do Manual do Empreendedor, publicado pela Agencia Nacional das Águas (ANA), todos os critérios de projetos apresentados são de suma importância na elaboração de projeto de barragem visando sempre a estabilidade e segurança que deve ter uma barragem.

7 DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

No dimensionamento das barragens para justificativa das suas formas, dimensões e outras disposições do projeto, visando à verificação das condições de segurança e operacionalidade, em relação aos previsíveis cenários de acidente e incidente, podem se considerar os seguintes passos de acordo com o NPB (1993):

- Identificação dos principais cenários e definição das correspondentes situações de dimensionamento;
- Caracterização das ações e suas combinações, bem como das características dos materiais e das estruturas, e análise do comportamento destas últimas para as situações de dimensionamento consideradas;
- Verificação das condições de funcionalidade e segurança, tendo em atenção as prescrições do projeto a satisfazer.

A experiência tem evidenciado a grande influência dos erros humanos na ocorrência de acidentes, devidos a falhas no projeto, na construção, na operação ou na manutenção. A ocorrência dessas falhas não deve ser minorada por intermédio do sobre dimensionamento das estruturas, mas pela adoção de medidas adequadas de garantia de qualidade, tanto no projeto, como na construção, na operação, na manutenção e monitoramento.

Os cenários devem ser definidos, tendo em consideração as características específicas da obra, especificando no dimensionamento os parâmetros representativos das ações e suas combinações, dos materiais das estruturas e da fundação e das técnicas de construção e operação.

O corpo da barragem e suas fundações devem ser considerados em conjunto e, neste mesmo contexto, os órgãos extravasores e de operação e os taludes do reservatório, devendo-se considerar as interações entre as diversas estruturas e a barragem.

Na quantificação da segurança em relação à ruptura de barragens de aterro devem ser adotados os coeficientes de segurança globais que, de acordo com a prática habitual, estabelecem a relação entre as forças resistentes e instabilizadoras, ao longo de uma superfície de deslizamento potencial crítica. A verificação da segurança à ruptura, de acordo com a prática habitual, as segura também, em geral, a verificação da operacionalidade da obra em relação a deformações excessivas.

(NPB, 1993).

De acordo com o Manual do empreendedor ANA (2015) as principais ações a considerar no dimensionamento em projeto de barragens (barragem de aterro, barragem de concreto, estruturas de concreto dos órgãos extravasores, dos órgãos de operação ou da casa de força), estabelecidas de acordo com as normas brasileiras da ABNT, como referido no item 1.4, são as seguintes:

1. Ações permanentes
 - Peso próprio
 - Cargas diversas
 2. Cargas acidentais
 - Sobrecargas
 - Cargas devido à presença de equipamentos eletromecânicos
 - Cargas devidas à operação de equipamentos de construção e as ações temporárias dos equipamentos durante a operação
 3. Pressões hidrostáticas
 4. Pressões hidrodinâmicas
 - Devidas a esforços hidráulicos
 - Devidas a ações sísmicas
 5. Pressões Intersticiais
 - Análises com traçado de redes de fluxo
 - Análises simplificadas, de acordo com diretrizes gerais como: Subpressões no contato das estruturas de concreto com a fundação
Subpressões em seções de concreto
Subpressões em planos inferiores ao contato concreto/fundação
 6. Pressão dos sedimentos transportados
 7. Empuxo de terraplenos
 8. Ações devidas ao vento
 9. Dilatação, retração e deformação lenta de estruturas de concreto.
- (ANA, 2015).

Como visto e definem-se as ações acima listadas e indicam-se os respectivos itens de projeto e de referência ou recomendados. Considera-se que através desses itens obtenha valores de referência que devem ser adotados para todas as barragens destinadas à acumulação de água e outros, independentemente da classificação da barragem. Indicam-se também as condições de carregamento a adotar nos estudos de estabilidade global e de

avaliação dos esforços internos (tensões), para as estruturas civis dos aproveitamentos hidráulicos, designadamente nas condições de carregamento normal e excepcional.

E ainda, conforme visto no Manual do empreendedor ANA (2015), a segurança de barragens é um aspecto fundamental para todas as entidades envolvidas, tais como: as autoridades legais, os empreendedores, bem como os agentes que lhes dão apoio técnico nas atividades relativas à concepção, ao projeto, à construção, à operação e pôr fim ao descomissionamento (desativação) as quais devem ser proporcionais aos tipos, dimensão e risco envolvido. Essas medidas, se devidamente implementadas, asseguram uma probabilidade de ocorrência de acidente reduzida ou praticamente nula, mas devem, apesar disso, ser complementadas com medidas de defesa civil para minorar as consequências de uma possível.

“Para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições.” (ANA, 2015, grifo nosso).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme exposto neste trabalho de Monografia, uma barragem de terra é mais fácil de ser danificada ou destruída pela ação da água, por galgamento ou transbordamento, ou por ação de erosão por embate de ondas no corpo do aterro, sem proteção e portanto, requerem manutenção contínua. Diante disso é estritamente necessário seguir as normas técnicas vigentes e as leis estabelecidas para elaboração de projeto e construção de barragens de pequeno porte, bem como também assegurar contemplando em seu projeto um plano de manutenção.

Cabe registrar que a criação de pequenos reservatórios está frequentemente associada a pequenas explorações agrícolas ou a abastecimento de pequenas comunidades, com orçamentos limitados para a caracterização do local de implantação, o projeto, a construção e a operação. tornando as pequenas barragens, mais vulneráveis por simplificações nas etapas de estudo e ausência de profissionais habilitados e experientes na elaboração de projetos e obras. Foi apresentada uma abordagem simplificada da legislação vigente, sobre as, normas

técnicas e manuais técnicos utilizados, de forma a facilitar o entendimento do presente trabalho de monografia, sendo citados documentos para consulta que auxiliam na elaboração de projeto e construção de barragem de pequeno porte.

As barragens de pequeno porte estão submetidas aos rigores e controles da lei de barragem de acordo com sua classificação de categoria de risco e dano potencial. As barragens de pequeno porte que se enquadram na lei são aquelas que possuem altura do maciço menor que 15,00 m, capacidade total do reservatório menor que 3.000.000 m³, podendo ser barragens de contenção de resíduos perigosos, essas com dano potencial médio ou alto, na eventualidade de um acidente. Caso uma pequena barragem apresente essas características, a mesma deve seguir os critérios estabelecidos pela lei.

Ainda segundo a Lei nº 12.334/2010, deve ser implantado o Plano de Ação de Emergência (PAE). O mesmo deve conter todas as ações de caráter emergencial a serem executadas pelo empreendedor. A lei 12.334/2010 descentraliza a responsabilidade de fiscalizar deixando a cargo de cada órgão a sua competência, que se divide entre quatro grupos, de acordo com a finalidade e classificação da barragem, onde o agente fiscalizador tem o poder de decisão para definir e implantação do que convier: 1º) barragens para geração de energia, fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel); 2º) para contenção de rejeitos minerais, fiscalizadas pela ANM; 3º) barragens para contenção de rejeitos industriais, sob responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e órgãos ambientais estaduais e 4º) as de usos múltiplos, sob fiscalização da Agência Nacional de Águas (ANA) ou de órgãos gestores estaduais de recursos hídricos (ÁVILA, 2012).

O Manual do Empreendedor é um instrumento importantíssimo no controle da estabilidade e segurança das barragens de acordo com a ANA (2015). Em conformidade com a Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que atribui ao proprietário de barragem ser o responsável direto e único. O Manual do Empreendedor estabelece e propõe de forma obrigatória aos referidos proprietários empreendedores de barragens, normas diretrizes e critérios de projetos a serem seguidos, conforme determina a lei vigente e as normas nacionais e internacionais.

Foi realizado também, um estudo dos aspectos gerais dos projetos de barragens de pequeno porte, bem como seu dimensionamento e critérios de segurança. Conclui-se que, para realizar projetos de barragens devem ser feitos a priori, os estudos geotécnicos, que contemplam visitas em campo e ensaios de campo e ensaios de laboratório. Verificou-se

também que as fases de estudo (estudos preliminares e de viabilidade) e as etapas de projeto (projeto básico, projeto executivo e projeto como construído, as built) são definidas por normas, e devem ser seguidas.

O NPB (1993) indica os critérios a serem seguidos no dimensionamento das barragens para justificativa das suas formas, dimensões e outras disposições do projeto, visando à verificação das condições de segurança e operacionalidade, em relação aos previsíveis cenários de acidente e incidente. O Manual do empreendedor ANA (2015) indica as principais ações a serem consideradas no dimensionamento em projeto de barragens, estabelecidas de acordo com as normas brasileiras da ABNT. Considera-se que através desses itens obtenha valores de referência que devem ser adotados para todas as barragens destinadas à acumulação de água e outros, independentemente da classificação da barragem. Indicam-se também as condições de carregamento a adotar nos estudos de estabilidade global e de avaliação dos esforços internos (tensões), para as estruturas civis dos aproveitamentos hidráulicos, designadamente nas condições de carregamento normal e excepcional.

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Concluo que, toda barragem seja ela qual for sua categoria de classificação, Grande, Média, Pequeno porte ou modelo construtivo, tem que atender aos rigores da lei e as normas técnicas.

A segurança de uma barragem tem que estar fundamentada e elencada desde os estudos iniciais do empreendimento, tendo que ser tratada como a parte mais importante do projeto de uma barragem para garantir a sua estabilidade e a própria segurança em todas as suas fases, início, operação e o seu fechamento.

Recomendo que, de acordo com que foi exposto nessa Monografia, estar atento ao fato de que uma barragem estar em operação há longo tempo não é garantia de sua segurança já que tanto a barragem quanto suas fundações estão sujeitas a um lento processo de deterioração devido a diversos fatores e portanto, é recomendável que os proprietários de

pequenas barragens em operações submetam tais estruturas a uma análise de riscos e a uma avaliação de estabilidade e segurança.

Recomendo também que, o engenheiro especialista em barragem ao projetar e construir barragem de pequeno porte, deverá seguir rigorosamente o que a lei vigente determina, seguir todos os critérios das normas técnica atuais, nacionais e internacionais, observar fisicamente em loco a real situação topográfica do sitio da barragem, sua posição numérica a jusante no curso d'água que se encontra outras barragens construídas em série, afim de contabiliza-las para cálculos dos dispositivos de segurança.

Recomendo ainda que, para diagnosticar laudo de segurança de barragem de pequeno porte já construída, o engenheiro perito Especialista em Segurança de Barragem, além seguir rigorosamente o que a lei e as normas técnicas vigentes determinam, terá que aprofundar seus trabalhos de pesquisas, estudos e análises de forma a garantir resultado imparcial e preciso.

REFERÊNCIAS

ANA, **Manual do Empreendedor Volume VIII Guia Prático de Pequenas Barragens**, Versão Preliminar – julho de 2015, disponível em:

http://audienciapublica.ana.gov.br/arquivos/Aud_007_2015_Manual_Empreendedor, acesso em 06/04/2018

BARBOSA, F., ALMEIDA, G., LÍCIO, J. et al. **Geologia aplicada a Barragens**. Tocantins; Universidade Federal de Tocantins. 2013.

BRASIL, LEI Nº 12334/2010 - Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Brasília, 2010; Civil Engineers, pp. 61-71, 1977.

COELHO A. S. Instrumentação de Segurança em Barragem, PUC. RJ, Publicado em 17 de Janeiro de 2017, disponível em:

<https://pt.linkedin.com/pulse/instrumenta%C3%A7%C3%A3o-geot%C3%A9cnica-em-barragens-de-terra-e-santos-coelho>, acesso em 23/04/2018

COSTA, W. D. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

Divisão Centro de Investimento. Disponível: <http://www.fao.org/3/a-ba0081o.pdf>, acesso em 24/04/2018.

DNOCS. **Instruções gerais a serem observadas na construção das barragens de terra.** Rio de Janeiro: s.n., 1957. 104 p.

FAO. **Manual sobre pequenas barragens de terra**, 2012, por Tim Stephens.

FERREIRA, Ricardo. Classificação das Barragens e UHE. PUC Goiás. Acesso em 22/05/2018, disponível em:
<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/puc_barragens_02_classificacao.pdf>.

LACERDA, Marianna Mousinho. de L. **Importância do Estudo Geológico-Geotécnico para o Rompimento de Barragens: O caso da ruptura da barragem de Teton EUA**, 2016. Acesso em 08/05/2018, disponível em:
<http://www.webartigos.com/artigos/importancia-do-estudo-geologico-geotecnico-para-o-rompimento-de-barragens-o-caso-da-ruptura-da-barragem-de-teton-eua/140568/>.

MARANGON, M. **Barragens de Terra e Enrocamento.** Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. 2004.

MARINHO, F.A.M. Investigação Geotécnica Para Quê? In: Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, 2005, São Paulo. **Anais.** São Paulo: USP, 2005, p. 2-5.

MOTTA, Carlos Nunes. Artigo, Política Nacional de Segurança de Barragem, Curitiba PR, 11/12/2012, Acesso em 03/06/2018, disponível em:
<http://www.ibracon.org.br/eventos/54cbc/cobertura/DamWorldConference-out12.pdf>>

NPB. Normas de Projeto de Barragem, 1993, Acesso em 21/06/2018, disponível em:
<http://www.oern.pt/documentos/legislacao/portarias/P846_93.pdf>.

PRANDI, J. **As 10 barragens mais altas do mundo.** 2013. Disponível em:
<http://gigantesdomundo.blogspot.com.br/2013/07/as-10-barragens-mais-altas-do-mundo.html>
> Acesso em 12/05/2018.

ROCHA, Batista da. A Lei 12.334/2010, **conforme comentada** em 11/2010;

SAYÃO, A. **Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento.** Curso de Mestrado da PUC -RJ, Rio de Janeiro. 2009.