

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

LUIS CARLOS ALVES DA SILVA

BARRAGEM DE TERRA: fenômenos patológicos e a
importância da fiscalização de barragem

Paracatu

2019

LUIS CARLOS ALVES DA SILVA

BARRAGEM DE TERRA: fenômenos patológicos e a importância da fiscalização de
barragem

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Obras de Terra

Orientador: Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo

Paracatu

2019

S586b Silva, Luís Carlos Alves da.
Barragem de terra: fenômenos patológicos e a importância da fiscalização de barragem. / Luís Carlos Alves da Silva. – Paracatu: [s.n.], 2019.
40 f. il.

Orientador: Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) UniAtenas.

1. Barragem de terra. I. Silva, Luís Carlos Alves da. II. UniAtenas. III. Título.

CDU: 62

LUIS CARLOS ALVES DA SILVA

BARRAGEM DE TERRA: fenômenos patológicos e a importância da fiscalização de barragem

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Obras de terra

Orientador: Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo

Banca examinadora:

Paracatu-MG, Paracatu-MG, 12 de junho de 2019.

Prof. Msc Pedro Henrique Pedrosa de Melo
Centro Universitário Atenas

Prof. Carlos Eduardo Ribeiro Chula
Centro Universitário Atenas

Prof. Matheus Dias Ruas
Centro Universitário Atenas

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter me dado o dom da vida, e forças para vencer todas as dificuldades apresentadas durante o curso. Aos meus pais e a minha esposa que com seu amor incondicional me deu suporte físico e emocional para chegar a essa etapa do curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me fortalecido ao ponto de superar as dificuldades e também por toda saúde que me deu e que permitiu alcançar esta etapa tão importante da minha vida.

Aos meus pais tenho um agradecimento muito especial porque acreditaram em mim desde o primeiro instante. Sou quem sou porque estiveram e estão sempre ao meu lado.

A minha esposa, Franciele Caixeta Silva, pelo amor e paciência, compreendendo minha ausência nos momentos familiares.

A todos os professores e professoras e principalmente ao meu orientador, que me guiou durante essa fase importante e me auxiliou sempre que necessário.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

RESUMO

O presente estudo abordou sobre os principais motivos que ocasionam o aparecimento de trincas e erosões na face de jusante e qual a melhor forma de tratamento para garantir a estabilidade na barragem de terra. Nessa perspectiva, teve como objetivo geral realizar estudos das anomalias existentes nas barragens de terra de modo a garantir a estabilidade da estrutura, como objetivos específicos identificar quais os motivos da aparição de trincas e erosões na face jusante das barragens. Estudar os critérios de manutenção que são necessários para garantir estabilidade da estrutura e analisar os instrumentos de monitoramento com eficácia. Mediante a essa questão norteadora, foi feito um levantamento dentro da literatura e em segundo momento, o trabalho apresenta uma análise crítica do levantamento anterior e da realidade dentro da construção civil. A conclusão do trabalho se fundamenta na importância de se buscar uma maior durabilidade nas barragens, evitando que patologias venham a danificar a estrutura e garantir a vida útil da construção e seguranças para as pessoas.

Palavras-chave: Barragens. Patologias. Construção civil.

ABSTRACT

The present study dealt with the main reasons that cause cracks and erosions on the downstream face and what is the best form of treatment to guarantee stability in the earth dam. In this perspective, it had as general objective to study the anomalies existing in the earth dams in order to guarantee the stability of the structure, as specific objectives to identify the reasons for the appearance of cracks and erosions in the face downstream of the dams. Study the maintenance criteria that are needed to ensure stability of the structure and analyze the monitoring tools effectively. Through this guiding question, a survey was made within the literature and secondly, the work presents a critical analysis of the previous survey and the reality within the civil construction. The conclusion of the work is based on the importance of seeking greater durability in the dams, avoiding that pathologies will damage the structure and guarantee the useful life of the construction and security for the people.

Keywords: *Dams. Pathologies. Construction.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- Barragem de Terra Rip Rap	16
FIGURA 2- Estrutura de Barragem – Recalque exagerado	19
FIGURA 3 - Trincas no corpo da barragem	20
FIGURA 4- Erosão por <i>Piping</i>	21
FIGURA 5- Rotina de um Projeto de Instrumentação	25
FIGURA 6- Métodos monitoramento e Inspeção	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Identificação.	29
TABELA 2- Resposta da primeira pergunta.	29
TABELA 3- Resposta da segunda pergunta.	30
TABELA 4- Resposta da terceira pergunta.	31
TABELA 5- Resposta da quarta pergunta.	32
TABELA 6- Resposta da quinta pergunta.	32
TABELA 7- Resposta da sexta pergunta.	33
TABELA 8- Resposta da sétima pergunta.	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA	12
1.2 HIPÓTESES	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 OBJETIVO GERAL	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	12
1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO	13
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2 BARRAGENS DE TERRA	15
3 ANOMALIAS EXISTENTES	18
4 CRITÉRIOS DE MANUTENÇÃO PARA A ESTABILIDADE DA ESTRUTURA	22
5 INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO	25
6 PESQUISA DE MONITORAMENTO APLICADO A PESSOAS COM EXPERIÊNCIA EM BARRAGENS DE TERRA	29
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	36
APÊNDICE	39

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Jansen (1983), a história da civilização está ligada à engenharia de barragens. Estas estruturas estão relacionadas com a ascensão e queda de civilizações, especialmente àquelas extremamente dependentes da irrigação, e vêm servindo ao Homem há mais de 5.000 anos.

O presente trabalho informa a natureza dos problemas ocasionados por patologias nas construções de barragens, as principais patologias decorrentes e mecanismos de proteção visando evitá-las. Uma vez que, compreende-se que a segurança de uma barragem está diretamente associada aos aspectos de projeto, instrumentação/inspeção, operação e manutenção.

Na face de projeto, as barragens exigem uma grande quantidade de investigação geotécnica, e na face executiva e operacional, respectivamente, as mesmas devem ser monitoradas através de instrumentação, a qual implementa um papel fundamental na análise do comportamento de sua estrutura.

De acordo com Wahl (2010) e Goodell (2012) o alastramento de grandes inundações é uma ciência já bem avançada, embora algumas zonas de dúvidas ainda existam na engenharia de segurança de barragens, tal como: parametrização do processo de geração de brecha de ruptura hipotética da barragem.

Ainda segundo os mesmos autores, a definição de segurança deve ser conhecida em um sentido global, envolvendo aspectos de natureza geotécnica, estrutural, hidráulica, operacional e ambiental. Os diversos aspectos apropriados para a segurança de barragens têm constituído um receio constante para projetistas e órgãos reguladores governamentais.

Os problemas provenientes em obras de barragens de terras, quando ocasionado pelo controle inapropriado do fluxo de água no núcleo e na face inferior da barragem, irá gerar formações de brechas decorrente do fluxo descontrolado. Segundo Wahl (2010) esta é a maior fonte de incertezas nos estudos de rompimento de barragens.

O monitoramento de barragens é a principal ferramenta na apuração de suas condições de segurança. Ao longo de sua vida útil, a fiscalização pode constatar variações nas condições de segurança, como resultado de processos de enfraquecimento e modificações ambientais (WAHL, 2010).

1.1 PROBLEMA

Quais os principais motivos que ocasionam o aparecimento de trincas e erosões na face de jusante e qual a melhor forma de tratamento para garantir a estabilidade na barragem de terra e garantir uma melhor fiscalização?

1.2 HIPÓTESES

Um dos motivos do aparecimento de trincas e erosões em barragens ocorrem pelas linhas de fluxo que não estão direcionadas por meio de drenos. Sendo assim, deve-se criar filtros que impeçam a passagem de água do montante para jusante, evitando carregamento de partículas formando Piping.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar estudos das anomalias existentes nas barragens de terra de modo a garantir a estabilidade da estrutura.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar quais os motivos da aparição de trincas e erosões na face jusante das barragens de terra.
- b) Estudar os critérios de manutenção que são necessários para garantir estabilidade da estrutura.
- c) Analisar os instrumentos de monitoramento com eficácia.

1.4 JUSTIFICATIVA

Sobre segurança de barragens de terra, pode-se considerar que apesar de apresentarem uma excelência infraestrutura alguns fenômenos patológicos como

manchas no pé de jusante e trincas estão propícios a acontecer. A grande preocupação é que a ruptura pode ocorrer em curto prazo e sem sinal considerável da localização da erosão tubular.

Sobretudo, durante os últimos 100 anos, houve 200 falhas significativas em barragens construídas, resultando na morte de mais de 11.100 pessoas (FERREIRA, 2015). Esses dados levaram estudiosos a buscarem mais a área de barragens, para que possam identificar quais os motivos que levaram o comprometimento da estabilidade da estrutura, para que seja analisado a melhor forma construtiva, com o intuito de diminuir os números de acidentes. Um exemplo de pesquisa foi à realizada por Manuel Rocha e Mineiro (1991), ao qual realizou alguns estudos práticos extensivo de risco na barragem de Marrocos, onde consideram que os cenários de erosão interno como sendo o mais grave.

1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO

Pesquisa do tipo exploratória tem como objetivo possibilitar um maior conhecimento a respeito do problema, de forma a torná-lo mais claro e auxiliando na elaboração de hipóteses.

O principal objetivo deste tipo de pesquisa pode ser tanto “o aprimoramento de ideias”, quanto “a descoberta de intuições”, o que o torna uma opção bastante flexível, gerando, na maioria dos casos, uma pesquisa bibliográfica ou um estudo de caso (GIL, 2002).

Com base em Gil (2002), acrescenta que este tipo de pesquisa costuma envolver: levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo o presente trabalho descreve o problema, a hipótese, os objetivos geral e específico, bem como a justificativa do estudo e a metodologia a ser abordada.

No segundo capítulo a ser abordado o presente estudo conceitua a importância das barragens de terra.

No terceiro capítulo visa analisar quais tipos de anomalias que podem aparecer na estrutura da barragem.

No quarto capítulo foi abordado sobre critérios de manutenção para garantir uma boa estabilidade da barragem.

No quinto capítulo teve como objetivo apresentar quais equipamentos utilizados para monitorar a estrutura da barragem.

No sexto capítulo foi realizada análise de dados através de questionários aplicado para pessoas que trabalham em barragem de terra.

No sétimo capítulo o presente trabalho enfatiza as considerações finais a qual valida à pesquisa, e destaca os pontos críticos do estudo.

2 BARRAGENS DE TERRA

As barragens de terra são aquelas em que toda, ou quase toda, seção transversal está construída por um mesmo tipo de solo, em base larga para distribuir o peso e aumentar a seção de percolação. Podem ter seção uniforme ou zonada, dependendo da disponibilidade de materiais de construção nas proximidades do barramento.

Para Marangon (2004), as barragens de terra são as mais elementares obras de barragens e normalmente se prestam para qualquer tipo de fundação, desde a rocha compacta, até terrenos construídos de materiais inconsolidados.

Dessa forma, Baptista e Coelho (2010) apontam que a barragem de terra não pode ser considerada como impermeável, pois ocorre em seu corpo a percolação d'água, este fenômeno deve ser tratado com bastante cuidado. A percolação coloca em risco a estabilidade da barragem e por isto deve ser feito o traçado das redes de fluxo em seu corpo. Através das redes de fluxo é possível determinar o local adequado de drenos e camadas impermeáveis.

Segundo a ONU (2011), as barragens de terras têm sido usadas, desde os tempos mais remotos, para aprisionar e desviar água. São estruturas compactadas que precisam da sua massa para resistir ao deslizamento. Nessa perspectiva, alguns métodos de transporte em desenvolvimento no campo da mecânica dos solos, aumentaram a segurança e a vida dessas estruturas desde o Século XIX.

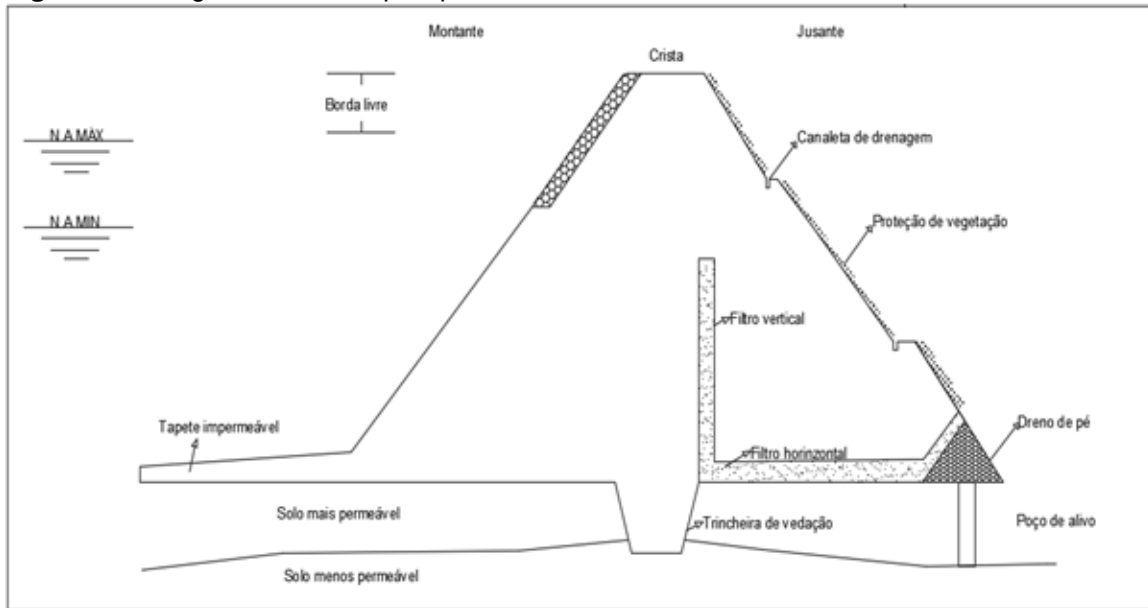
Os benefícios relacionados às barragens são múltiplos: produção de energia elétrica; abastecimento de água para uso humano; abastecimento de água para uso industrial; irrigação; regularização de vazões atenuando os efeitos das enchentes e das secas; navegação; aquicultura; lazer e turismo; disposição de rejeitos de mineração; acumulação de resíduos industriais líquidos.

Segundo Massad (2003), nas barragens zonadas há um núcleo de material impermeável e duas zonas externas, normalmente construídas com materiais mais permeáveis e mais resistentes aos deslizamentos. Há sempre uma proteção com blocos de rocha no talude de montante, conhecido como enrocamento ou Rip Rap, contra as ondas provocadas pelos ventos na área do reservatório.

Na construção de barragens, a segurança deve ser uma prioridade. Por fim, quando uma barragem já não é necessária ou é considerada não viável, deverá ser

tornada segura. Isto poderá incluir a destruição do aterro e retornar o rio (na medida do possível) ao seu estado natural ou convertendo a barragem numa estrutura de conservação com um programa de inspeção e manutenção de forma a assegurar que não venha a ser negligenciada e a constituir um risco para as áreas a jusante.

Figura 1- Barragem de Terra Rip Rap.



Fonte: Massad (2003).

As barragens de terra especificamente são construções de aterro mais usualmente utilizadas. Para a sua construção, adotamos materiais naturais (argila, areia e silte) com um mínimo de processamento prévio. Segundo Schoklitsch (1946), as barragens de terra podem assumir alturas de até 100 m, desde que as condições geológicas do terreno e os custos envolvidos sejam compatíveis.

A partir daí, são aumentadas as hipóteses de mecanismos hidráulicos, de tensão de formação ou dos esforços passíveis de atingir o comportamento da barragem. Em seguida, o plano de instrumentação pode ser compreendido tendo em mente estas hipóteses, que são nada menos que os modos e mecanismos de falha identificados. Por exemplo, um material mole de fundação pode levar a preocupações sobre estabilidade e recalque, induzindo a instalação de uma instrumentação para medição de recalque.

O Comitê Brasileiro de Barragens (1996) diz ainda que a instrumentação pode fornecer dados sobre a melhor época para a realização de certas operações construtivas, bem como pode ser utilizada para verificar a adequação de métodos

construtivos propostos pelo construtor e, provavelmente, concluir sobre a necessidade de modificação dos métodos propostos.

Conforme estabelecido na Resolução ANA nº 236/17, a Inspeção de Segurança Regular – ISR deverá ser realizada pelo empreendedor, no mínimo, uma vez por ano, salvo casos específicos. Até 31 de dezembro do ano da realização da ISR, a empresa de construção de barragem fiscalizada pela ANA deverá cadastrar sua inspeção (ANA, 2017).

Além disso, é atribuição da ANA organizar, estabelecer e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), assim como propiciar articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens e coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens.

Assim, entende-se que a segurança das barragens deve ser priorizada desde o início do projeto. Sendo que, em uma concepção geral do projeto, o arranjo e o dimensionamento das estruturas são fundamentais para o sucesso do empreendimento, uma vez que estudos insuficientes, ou até mesmo erros, podem levar a consequências graves.

3 ANOMALIAS EXISTENTES

As barragens são geralmente obras associadas a um elevado potencial de risco devido à possibilidade de ruptura, com consequências catastróficas para as próprias estruturas, para o meio ambiente, com destruição de flora e fauna, e principalmente pelas perdas de vidas humanas e econômicas.

Segundo Menescal (2009), aspectos como o aumento de comunidades nos vales dos rios, ocorrência de rupturas e envelhecimento de barragens, provocaram uma crescente preocupação internacional com o tema segurança de barragens desde os anos de 1950 e 1960.

Anomalia em barragens de terra, são consideradas quaisquer deficiências que possa vir a afetar a segurança da barragem, seja a curto ou longo prazo. Estas podem ser encontradas na inspeção de atividades cotidianas, em um dia de trabalho. Logo, é fundamental anotar o que está em situação preocupante, se há anomalias: erosões, trincas, anotando também a localização, o tamanho, quaisquer informações úteis para encontrá-las e defini-las. Itens como binóculos, fita métrica e um pequeno recipiente ajudam a definir essas anomalias.

A segurança de obras de barramento, segundo Fontenelle (2007), consiste em manter os níveis admissíveis de risco à sociedade e ao meio ambiente, adotando comportamentos para evitar incidentes e acidentes que possam prejudicar em aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais.

Todas as metodologias que se baseiam nos sentidos humanos (visão, audição, olfato, tato) para detectar as anomalias de uma barragem são denominadas de Preditiva Subjetiva, pois dependem da análise pessoal e qualitativa do profissional que a realiza.

Quando a detecção de anomalias lança mão de metodologias e instrumentos que permitem quantificar determinados parâmetros do comportamento da estrutura (deslocamentos, vazões, tensões, etc) por meio de instrumentos, a manutenção preditiva objetiva. Juntas, inspeções de campo e instrumentação, compõe a manutenção preditiva de barragens.

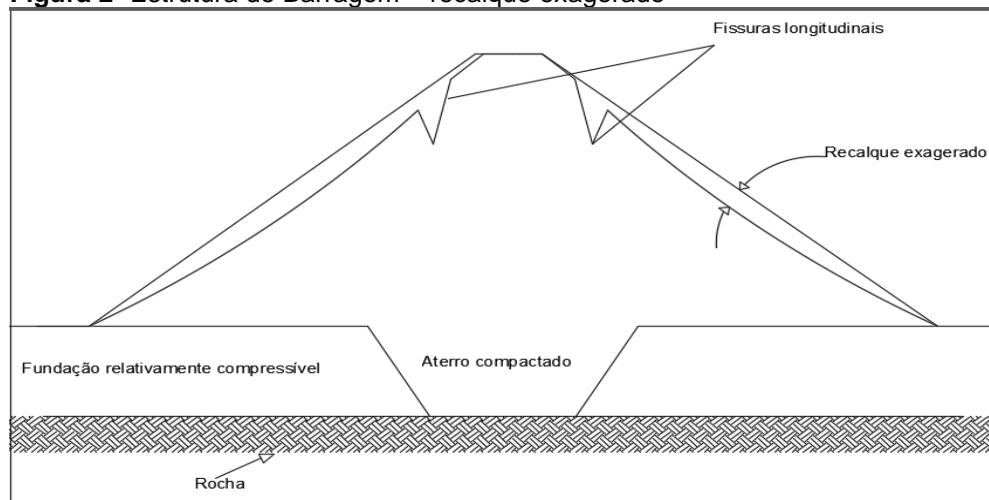
Os binóculos servem para visualizar as áreas de difícil acesso. A fita métrica para medir a extensão e largura de fissuras e de outras anomalias e, também a

distância destas a um ponto de referência. E o pequeno recipiente de vidro ou plástico transparente para verificar a limpidez de vazamentos ou escoamentos.

Segundo Brito (2012), a aparição de trincas no corpo da barragem envolve: recalques, fissuras e trincas. As barragens de terra ou enrocamentos são constituídas por materiais terrosos compactados em camadas, possuindo características que permitem que a acomodação das partículas e conseqüentemente dessas camadas, com o decorrer do tempo.

Na Figura 2, pode-se mostrar que recalques podem resultar em problemas, caso esse abaixamento da crista seja muito exagerado, como afirma Teixeira (2017), principalmente em trecho localizado, o que representará perda de borda livre. Nesse caso, haverá o risco de danos (principalmente para o talude jusante, em caso de níveis elevados no reservatório e a formação de altas ondas, lançando água por cima da crista).

Figura 2- Estrutura de Barragem – recalque exagerado



Fonte: Teixeira (2017).

Brito (2012), afirma que essas acomodações por sua vez, provocam a ocorrência de movimentos verticais dirigidas para baixo, essas movimentações são consideradas normais até determinado ponto, que pode ser previsto em projeto, mas a partir desse ponto crítico podem ocorrer encontros de estruturas ou materiais diferentes, comprometendo a segurança da barragem.

A Trinca por recalque é normalmente transversal ao aterro e pode ser bastante profunda, representando elevado risco de ruptura. Devemos procurar ainda, ao longo

das bordas jusante da crista ou das bermas, as trincas devido ao escorregamento de material do talude, como mostra a Figura 3.

Figura 3- Trincas no corpo da barragem.



Fonte: Silva (2007).

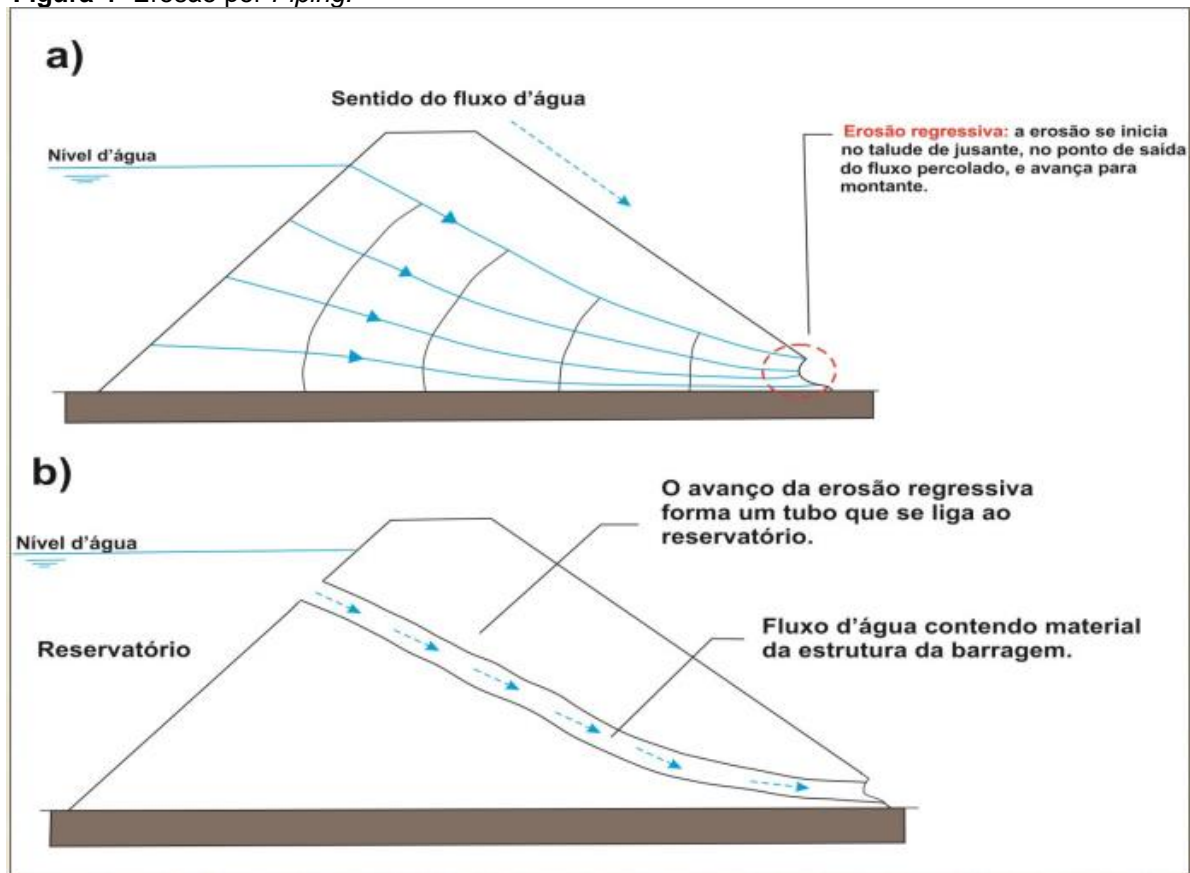
Para Silva (2007), as erosões acontecem quando algum fluido, ar ou água, provoca carreamento do material da barragem. Geralmente, a ação de escoamento da água da chuva provoca a formação de ravinamentos que progredem e dão origem a erosões maiores.

A erosão interna é uma das principais causas de acidentes e de rupturas em barragens. Os modos de rupturas deste tipo estão associados ao arrastamento de partículas de solo através da percolação no aterro da barragem ou na sua fundação. De acordo com Silva (2007), um processo de erosão interna que conduza à ruptura de uma barragem de aterro desenvolve-se em quatro fases sequenciais fundamentais, designadas por: iniciação da erosão, continuação da erosão ou filtração, progressão da erosão e formação de brecha.

Essa erosão pode ser apenas por ação externa e de caráter superficial. As mesmas podem chegar a ser denominadas de voçoroca, caso haja afloramento de água (subterrânea) minando na base do talude de erosão.

Também pode ocorrer um fenômeno denominado *piping*, que é um tipo de erosão interna que acaba criando canais dentro da estrutura que facilitam ainda mais o carreamento de materiais e mais infiltrações, esse fenômeno, normalmente, é causado por vazamento nas estruturas de drenagem ou devido a infiltrações na barragem. Na Figura 4 mostra como isso acontece.

Figura 4- Erosão por *Piping*.



Fonte: Romanini (2016).

A ruptura por piping ocorre quando há uma erosão interna de jusante para montante, formando um tubo (em inglês, pipe), com carreamento de partículas de solo pelo maciço, devido ao fluxo de água excessivo de montante para jusante. Como afirma Romanini (2016), o deslocamento de partículas do barramento desestabiliza o equilíbrio de forças na matriz do solo e o estado de tensões no maciço por onde ocorre esse fluxo. O fenômeno é progressivo até a formação de uma brecha e o colapso da estrutura. O piping ocorre com mais frequência no primeiro enchimento e nos cinco primeiros anos de operação. É mais comum de ocorrer no barramento, mas ocorre também na fundação.

Para o autor, é tido como a provável causa para o rompimento da barragem em Brumadinho, em que os rejeitos contidos sofreram uma liquefação (tiveram suas características modificadas, tornando-se mais líquidos) e causaram infiltrações na barragem.

4 CRITÉRIOS DE MANUTENÇÃO PARA A ESTABILIDADE DA ESTRUTURA

Conforme McCully (2001), em média, ocorrem dez rompimentos significativos de barragens em algum lugar do mundo a cada década, adicionando-se, ainda, os “quase rompimentos”. As falhas mais comuns que podem ocorrer em barragens são devidas a: enchentes extremas, incertezas geológicas no local escolhido para implantação, perdas de água através das fundações e aterros, defeitos de construção e projeto e sismicidade. Dessa forma, nota-se a necessidade de manutenções para verificar a estabilidade da estrutura da barragem e assim, evitar acidentes.

Segundo a ANA (2016), a manutenção é o conjunto de tarefas destinadas a manter a barragem em adequadas condições de segurança e de funcionalidade. Em geral, distinguem-se dois tipos de manutenção: a preventiva e a corretiva. Nesse sentido, define-se como manutenção preventiva aquela que é efetuada constantemente, antes da ocorrência de uma dada anomalia (visando evitá-la), ao passo que a manutenção corretiva corresponde aos trabalhos de reparação na sequência da detecção de deteriorações.

A manutenção preventiva é necessária aos:

[...] problemas ou situações mais frequentes necessitando de manutenção são a deterioração do coroamento, as falhas na proteção na zona superior do paramento de montante, as falhas na proteção do paramento de jusante, a obstrução parcial ou total do sistema de drenagem superficial (calhas), o ravinamento dos paramentos, o crescimento de vegetação arbustiva no coroamento e nos paramentos, a erosão do vertedouro e da zona de saída do vertedouro e do descarregador de fundo, e a perda de funcionalidade dos registros dos descarregadores de fundo/tomada d’água (ANA, 2016, p. 29).

Por sua vez, as situações que frequentemente necessitam de manutenção corretiva são:

[...] borda livre insuficiente, percolação, fendilhação, perda de estabilidade dos paramentos ou dos taludes do reservatório, depressões (recalques e abatimentos), problemas de manutenção (proteção inadequada de paramentos, erosão superficial devido à água das chuvas, crescimento excessivo de vegetação e buracos de animais), deteriorações ou obstruções de estruturas hidráulicas, crescimento de plantas aquáticas e sedimentação excessiva do reservatório. Dentre as patologias mais graves, as mais frequentes em pequenas barragens de terra estão relacionadas com o galgamento e com a erosão interna (ANA, 2016, p.29).

De acordo com os Estados Unidos da América – *Design of Small Dams* (1987), a avaliação e exames periódicos de barragens e reservatórios são essenciais para a segurança da população. A intenção de conduzir exames e avaliações periódicos para possíveis revelações de riscos pode prevenir acidentes, ou algo que possa prejudicar as operações, ameaçando a segurança da barragem. Toda barragem deve passar pelas seguintes etapas de avaliação:

- Avaliações de Segurança Periódicas (a cada três anos)
- Análises Técnicas: Classificação geral de segurança e qualificação dos perigos a jusante;
- Análise das questões hidrológicas / hidráulicas;
- Análise das questões geológicas;
- Análise das questões geotécnicas;
- Análise das questões estruturais.

Cada etapa com sua importância, devendo estar presente na avaliação das barragens, observando a estrutura, todas as questões explícitas acima, bem como a qualificação quanto aos riscos. Assim, o Plano de Segurança de Barragem – PSB, aponta que os empreendedores devem adotar as ações necessárias à implementação de um efetivo sistema de gestão da segurança, obedecendo às regulamentações estabelecidas pelos respectivos órgãos fiscalizadores.

Esse plano é de implementação obrigatória pelo empreendedor, cujo objetivo é auxiliá-lo na gestão da segurança da barragem. Devendo conter: Informações gerais da barragem e do empreendedor; Documentação técnica do empreendimento; Planos e Procedimentos (operação, manutenção, inspeção, monitoramento e instrumentação); Registros e controles (operação, manutenção, inspeção, monitoramento, instrumentação, bem como os testes de equipamentos hidráulicos, elétricos, mecânicos e etc.); relatórios de inspeção (regulares e especiais, este caso haja) revisão periódica de segurança de barragem; e plano de ação de emergência, quando exigido.

A partir da sua construção, cada barragem tem uma trajetória de vida diferente, dependendo do seu grau de segurança. A Comissão Internacional de Grandes Barragens, CIGB (2008) afirma que é importante os efeitos de monitoramento e verificações de segurança periódicas, se estas atividades forem realizadas de maneira efetiva, ações corretivas serão tomadas de tempos em tempos.

Dessa forma, sem uma manutenção adequada, a vida de uma estrutura evolui naturalmente para o colapso, portanto a manutenção é essencial para prolongar a vida da barragem.

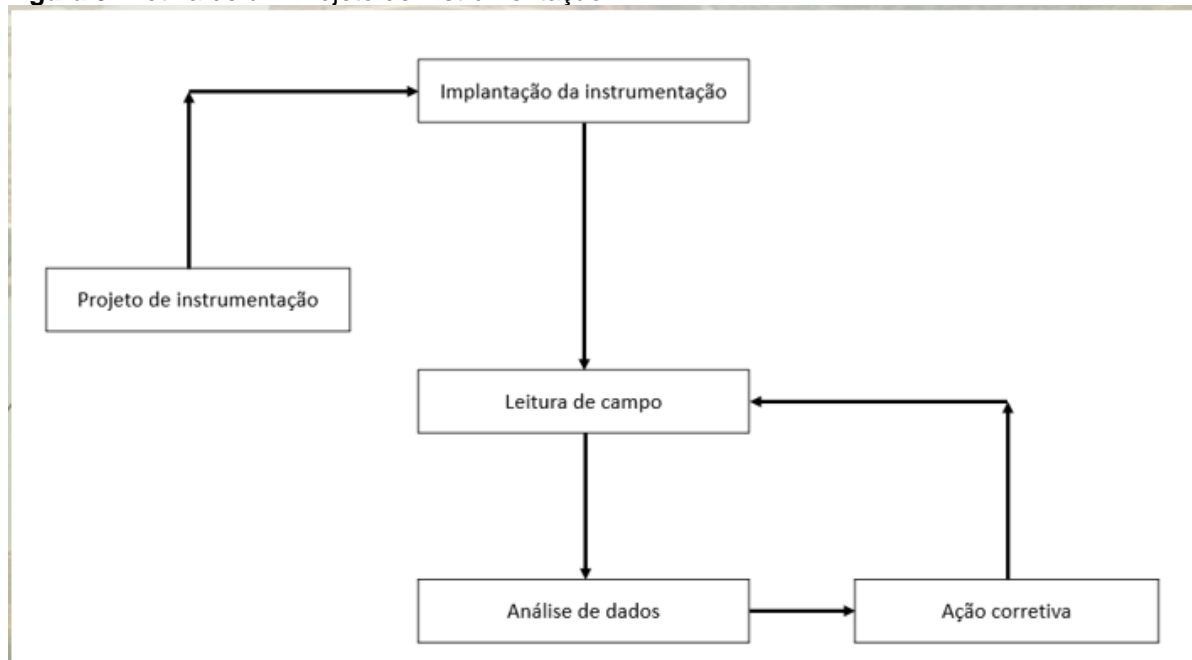
Para aplicação do instrumento, é necessária sua regulamentação. A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem deverão ser estabelecidos pelo respectivo órgão fiscalizador (RSB, 2011).

5 INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO

Segundo a Lei 12.334, artigo 4º, inciso I: “a segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento, primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros” (BRASIL, 2010).

De acordo com Cruz (1996), a instrumentação é um dos métodos utilizados para acompanhar o comportamento de uma barragem e de sua fundação, pode alertar o desenvolvimento de condições inseguras, uma vez que deve especificar as diretrizes básicas para um bom monitoramento, como mostra Figura 5.

Figura 5- Rotina de um Projeto de Instrumentação.



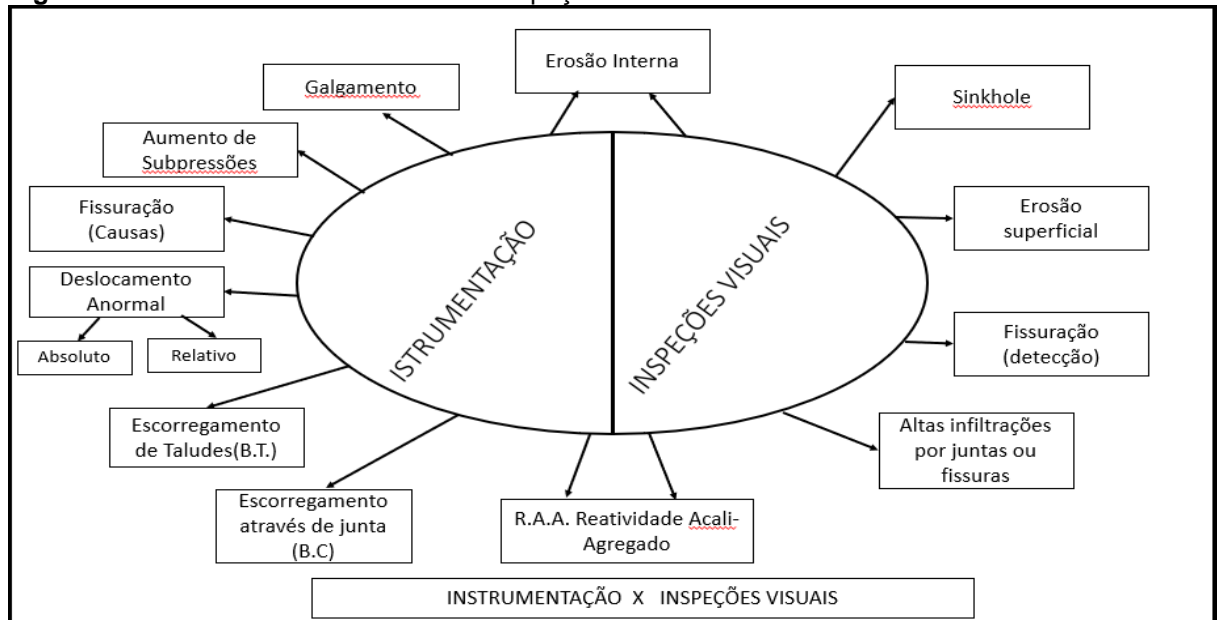
Fonte: Machado (2007).

Segundo o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, MME (2002), toda barragem deve ser instrumentada, de acordo com seu porte e riscos associados e ter os dados analisados periodicamente com a realização das leituras. Todos os instrumentos devem ser dotados de valores de controle ou limites.

A instrumentação disponível no mercado deve estar adequada à necessidade do empreendimento, nesse sentido, os sistemas automatizados necessitam de investimentos financeiros elevados para a transmissão de dados, mas os sistemas

mais econômicos são de leitura manual e necessitam de um operador de leitura, como é demonstrado na Figura 6.

Figura 6- Métodos de monitoramentos e inspeções.



Fonte: Silveira (2011).

Segundo Fiorini (2008), para qualquer barragem, durante o planejamento e projeto, é possível e necessário, conhecer todos os aspectos da barragem para garantir a segurança desta.

A partir destes parâmetros, vamos definir o tipo e o arranjo da barragem e a partir destes quais as principais grandezas que deverão ser monitoradas pela instrumentação, são:

- Deslocamentos;
- Deformações e tensões;
- Temperatura;
- Níveis piezométricos em fundações;
- Pressões de água;
- Vazões (MATOS 2002, pág. 5).

A instrumentação, em conjunto com as inspeções visuais, garante a segurança da estrutura. Dessa forma, Bonazi (1991), afirma que o monitoramento é muitas vezes denominado de auscultação, que é o “ato de ouvir a opinião”, aplica-se esse termo devido à utilização dos sentidos humanos, bem como os seus conhecimentos para verificar as condições de segurança das estruturas de barragens por meio das inspeções visuais.

O monitoramento seria composto por inspeções visuais, aquisição e análise de dados coletados de instrumentação civil instalada na barragem. Instrumentos convenientemente instalados, leituras realizadas de maneira correta e avaliações adequadas realizadas nas épocas apropriadas são fundamentais na determinação do desempenho de uma barragem.

A maioria das ruínas ocorridas em obras construídas pelo ser humano, provavelmente, poderiam ter sido evitadas caso os comportamentos destas estruturas tivessem sido inspecionados, monitorados e analisados continuamente e, se medidas corretivas adequadas tivessem sido adotadas a tempo.

A instrumentação para monitoramento depende da dimensão da barragem, de seu objetivo, características do local onde está construída e dos aspectos construtivos e operativos. A fase do planejamento, para Fiorini (2008), se divide nas etapas: construção, primeiro enchimento e operação.

A fase de construção, ainda segundo o autor, é o momento de avaliar eventos não previstos e detectar anomalias no comportamento da barragem, de outras estruturas, ou de condições que as possam favorecer; prever novas zonas de risco; fornecer informações mais realistas e representativas sobre os materiais e sobre a fundação e aferir soluções técnicas.

Na etapa do primeiro enchimento, é o período em que:

[...] a barragem passa a entrar em carga total pela primeira vez, sendo considerado este o período mais crítico na sua vida útil. O monitoramento assume um papel importante, pois permite um diagnóstico preciso da obra, comparando os dados com os limites de projeto (MATOS 2002, pág. 4).

Nesta fase, a instrumentação deve: alertar sobre a ocorrência de anomalias que possam colocar em risco a segurança das estruturas de barramento; possibilitar uma avaliação do desempenho estrutural das obras de barramento, através de comparações entre grandezas medidas “in situ” e aquelas consideradas no projeto, visando verificar a adequação aos critérios de projeto.

A fase de operação envolve toda a vida útil da barragem. Durante esta fase, a barragem vai “trabalhar”, isto é, deformar, recalcar, deslocar, aquecer, esfriar. Passará por situações de cheias e secas e, algumas até, por sismos. A instrumentação nesta fase, objetiva: acompanhar o atendimento aos critérios de projeto; monitorar o desempenho geral da barragem, da fundação e das estruturas associadas, como:

deslocamentos, tensões internas, subpressão, vazões de drenagem, e outras; observar com detalhe, o desempenho de áreas e situações críticas e prever possíveis zonas de risco e caracterizar o comportamento das estruturas, após algum tempo de operação e reavaliar suas condições de segurança.

Segundo Bonazzi (1991), os equipamentos de monitoramento são: medidores de vazão; piezômetros e medidores de infiltração na fundação e pêndulos, se possível. Que serão usados para monitoramento depois da consolidação da barragem.

As inspeções regulares de segurança de barragens são realizadas em intervalos periódicos gerando um relatório de inspeção e buscam identificar eventuais problemas técnicos visíveis por meio da inspeção visual, propondo sua correção ou o acionamento de inspeções mais minuciosas específicas para realização de uma inspeção especial, focada especificamente no problema identificado. As citadas inspeções regulares compõem-se de: Ficha de inspeção regular; Relatório de inspeção regular; Extrato de inspeção regular e Declaração de condição de estabilidade.

O Plano de Ações Emergenciais, conforme art. 11 da Lei 12.337/2010, é um documento formal, no qual estão identificadas as condições de emergência em potencial para a barragem. Neste plano, devem-se conter todas as orientações importantes para tomada de decisão no momento de sinistro, permitindo entre outras medidas a notificação e o alerta antecipado, visando minimizar os danos materiais e ambientais além das perdas de vidas (BRASIL, 2010).

Neste documento devem ser identificadas as possíveis situações de emergência, bem como as suas análises e procedimentos para a identificação e notificação de quaisquer eventuais rupturas da barragem; os procedimentos preventivos e corretivos para ser aplicado em situações de emergência, indicando o responsável pela ação; estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades que possam ser afetadas em caso de desastre.

As condições de segurança de uma barragem, conforme Brasil (2002), não dependem somente do projeto de instrumentação, por necessitar de complementação nas inspeções visuais periódicas para detectar deteriorações e alertar as condições que possam comprometer a estrutura da barragem em análise. A inspeção local é primordial, verificando sua fundação, os dispositivos de descarga, de saída, o reservatório e as áreas, bem como os dispositivos de auscultação e as vias de acesso.

6 PESQUISA DE MONITORAMENTO APLICADO A PESSOAS COM EXPERIÊNCIA EM BARRAGENS DE TERRA

Aplicou-se um questionário com sete questões, para cinco pessoas que trabalham em área de barragens de terra, a fim de responder aos objetivos do presente trabalho, em uma empresa privada de Paracatu/MG. Esses sujeitos serão apresentados como “S1; S2; S3; S4; S5” como maneira de resguardar a identidade dos pesquisados. Nas tabelas a seguir, apresentam-se os resultados obtidos, bem como a análise destes:

Tabela 1- Identificação.

Sujeitos	Função
S1	Auxiliar de Laboratorista
S2	Laboratorista de solo
S3	Técnico em laboratório de solo
S4	Chefe de laboratório
S5	Fiscal de campo

Fonte: O autor (2019).

A pesquisa foi realizada com cinco pessoas de diferentes funções, que trabalham em áreas de barragens de terra, a fim de analisar o tema de forma mais complexa. Questionou-se o seguinte:

Tabela 2- Respostas da primeira pergunta.

Sujeitos	Explique o que são barragens de terra e a sua finalidade?
S1	É uma estrutura construída em sentido geralmente transversal ao fluxo do curso d'água. Sua finalidade está ligada no acúmulo de água.
S2	Barragens são construções para acumulo de água com finalidade para abastecimento da população, plantio, energia elétrica e para despejo de rejeito.
S3	São estrutura/barramento feito à base de terra, cujo objetivo e a contenção ou retenção de uma corrente de água superficial.
S4	Barragem de terra e um tipo de barragem mais simples, porém de grande volume, pois funcionam pelo peso do aterro. Tem a finalidade de formação de reservatório artificial.
S5	São construídas para contenção de água, rejeitos de mineração. A maioria das barragens tem a finalidade para abastecimentos de água e irrigação e energia elétrica.

Fonte: O autor (2019).

Diante das respostas apresentadas, nota-se que os cinco sujeitos afirmam justamente o que está presente no referencial teórico dessa pesquisa, concordando com Marangon (2004) ao afirmar que as barragens de terra são as mais elementares obras de barragens e normalmente se prestam para qualquer tipo de fundação, desde a rocha compacta, até terrenos construídos de materiais inconsolidados. Porque são aquelas em que toda, ou quase toda, seção transversal está construída por um mesmo tipo de solo, em base larga para distribuir o peso e aumentar a seção de percolação. Podem ter seção uniforme ou zonada, dependendo da disponibilidade de materiais de construção nas proximidades do barramento.

Sobre as anomalias em barragens de terra, chegou-se aos resultados:

Tabela 3- Respostas da segunda pergunta.

Sujeitos	Quais são as anomalias que podem existir em barragens de terra?
S1	Em uma barragem de terra podem encontrar fissuras, erosões, e isso ocorre pelo carregamento de partículas, devido aos efeitos materiais como a chuva.
S2	Erosões, trincas e percolação de água que forma o “piping”
S3	As anomalias mais comuns estar relacionado a água da chuva, isso acontece pelo fato de ser uma construção de terra, ocorrendo erosões no talude da barragem através de carregamento de partículas.
S4	Trincas, erosões superficiais, erosões internas (piping) carregamento de matérias finos.
S5	Pode aparecer trincas devido retração do solo erosões ocorrido por carregamento de partículas finas devido efeitos naturais.

Fonte: O autor (2019).

Novamente, foi possível perceber que as observações dos pesquisados são pertinentes que às apresentações teóricas, Fontenelle (2007), destaca que as anomalias em barragens de terra, são consideradas quaisquer deficiências que possa vir a afetar a segurança da barragem, seja curto ou longo prazo.

Estas podem ser encontradas na inspeção de atividades cotidianas, em um dia trabalho. Sendo fundamental, anotar o que está em situação preocupante, se há coisas diferentes como: erosões, trincas, anotando também a localização, o tamanho, quaisquer informações úteis para encontrar essas anomalias e defini-las. Itens como binóculos, fita métrica e um pequeno recipiente ajudam a definir essas anomalias.

Diante das anomalias, indagou-se também sobre os critérios de manutenção para a estabilidade da estrutura das barragens.

Tabela 4- Respostas da terceira pergunta.

Sujeitos	Quais são os critérios de manutenção para a estabilidade da estrutura das barragens?
S1	Deve ser observado diariamente todos os equipamentos de monitoramento, para que possa ter informações do comportamento do interior da estrutura para manter a manutenção em dias.
S2	Manter sempre atualizadas as inspeções, ficar sempre atentos às atividades do dia a dia, inspeções visuais e análises de laboratório
S3	No corpo da barragem na etapa de levantamento existe diversos equipamentos de leitura como por exemplo piezômetro e inclinômetro que deve manter-se intacto, dever sempre realizar inspeção no mesmo para verificar se a necessidade de troca ou manutenção.
S4	Devido carregamento de matérias do talude em período pós chuva ocorrer pequenas erosões superficiais, devem ser tratadas para que não aumenta a erosões.
S5	Diariamente deve-se ter fiscalização do responsável do monitoramento para verificar se realmente os equipamentos estão funcionando para poder pegar as leituras dos equipamentos, para garantir se a necessidade de alguma manutenção na barragem.

Fonte: O autor (2019).

Ressalta-se a necessidade de monitoramento para a segurança em locais onde se existe barragens de terra, segundo a ANA (2016), a manutenção é para manter a barragem em adequadas condições de segurança e de funcionalidade. Nesse sentido, define-se como manutenção preventiva aquela que é efetuada correntemente, antes da ocorrência de uma dada anomalia (visando evitá-la), ao passo que a manutenção corretiva corresponde aos trabalhos de reparação na sequência da detecção de deteriorações.

A segurança de obras de barramento consiste, portanto em manter os níveis admissíveis de risco à sociedade e ao meio ambiente, adotando comportamentos para evitar incidentes e acidentes que possam prejudicar em aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais.

Tabela 5- Respostas da quarta pergunta.

Sujeitos	Quais os instrumentos utilizados para o monitoramento da segurança das barragens?
S1	Existem diversos equipamentos utilizados para medições de dados no corpo da barragem, são eles: Piezômetros medidor de vazão, inclinômetro para verificar deslocamento da estrutura da barragem.
S2	Marco topográfico, equipamento utilizado para calcular o nível de vibração, dando controle de trincas para que possa ser tratada sem agravar a estrutura.
S3	Inclinômetro e um equipamento muito importante pois devido sua leitura pode-se ter a informação de qual grau de deslocamento que a barragem sofreu, para determinar se estar dentro do aceitável.
S4	Piezômetro de tudo aberto (Standpipe ou Piezômetro Casagrande) são instrumentos de fácil confecção e instalação, alta durabilidade e confiabilidade.
S5	Piezômetro de tubo aberto e alguns mais sofisticados como piezômetro elétrico, pneumático e hidráulico.

Fonte: O autor (2019).

Diante da importância da Política Nacional de Segurança de Barragens, perguntou-se se os sujeitos pesquisados a conhecem e estão cientes do seu objetivo:

Tabela 6- Respostas da quinta pergunta.

Sujeitos	Você conhece a Política Nacional de Segurança de Barragens e o seu objetivo? Explique:
S1	Sim. Seu objetivo foi criar uma política pública e um sistema de integração dos diversos órgãos e dos diversos entes federativos no intuito de assegurar a integridade das barragens.
S2	Sim, o objetivo é garantir os padrões de segurança das barragens, fazer o monitoramento diário para assim reduzir a probabilidade de ocorrer um acidente(rompimento).
S3	Sim, e uma lei que se aplica-se a barragens destinadas a acumulação de água para quaisquer usos, a disposição final ou temporária de rejeito e a acumulação de resíduos industriais.
S4	Sim, ela é uma lei destinada a barragens com objetivo a garantir os padrões de segurança de barragens, promover monitoramento de ações de segurança pelo responsável da barragem entre outros.
S5	O objetivo da lei da segurança de barragens é garantir a observância de padrões de segurança de barragens, de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências, além de regulamentar as ações e padrões de segurança.

Fonte: O autor (2019).

Todos os sujeitos conhecem a Política Nacional de Segurança de Barragens, e evidenciam o seu objetivo de criar uma política pública e um sistema de integração entre os órgãos competentes para assegurar a integridade das barragens, garantindo

a segurança delas para evitar acidentes. Saliendam ainda que se aplica uma lei referente a acumulação de rejeitos industriais, como o acúmulo de água.

Nessa mesma perspectiva, indagou-se sobre o Plano de Segurança de Barragens, cujos sujeitos apresentaram o seu objetivo.

Tabela 7- Respostas da sexta pergunta.

Sujeitos	O que é Plano de Segurança de Barragens?
S1	O objetivo é verificar o estado geral de segurança da barragem, devendo indicar ações a serem adotadas pelo responsável da barragem pra manutenção de segurança. Deve ser elaborado até o início do primeiro enchimento da barragem.
S2	O plano de segurança de barragem é um documento a ser elaborado para cada barramento do Brasil.
S3	O plano de segurança de barragem é um instrumento da PNSB e deve ser obrigatoriamente implantado pelo empreendedor.
S4	Considerando que a revisão periódica de segurança da barragem é parte integrante do plano de segurança da Barragem e que cabe ao órgão fiscalizador estabelecer a periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento.
S5	O plano de segurança de barragem é um instrumento da PNSB e deve ser obrigatoriamente implantado pelo responsável da barragem.

Fonte: O autor (2019).

Nota-se a relevância do Plano de Segurança de Barragens, já que, é o responsável legal das barragens, e por isso aponta que os empreendedores devem adotar as ações necessárias à implementação de um efetivo sistema de gestão da segurança, obedecendo às regulamentações estabelecidas pelos respectivos órgãos fiscalizadores. Indica as ações que devem ser adotadas para medidas de segurança, considerando revisões periódicas para melhor monitoramento de segurança das barragens.

Então, por fim, questionaram-se os objetivos da revisão periódica de segurança de barragem.

Tabela 8- Respostas da sétima pergunta.

Sujeitos	Deve-se fazer revisão periódica de segurança de barragem. Qual o objetivo dessa revisão?
S1	Sim. Através da revisão, deve-se observar o estado geral de segurança da barragem, para medir ações a serem adotadas.
S2	Encontrar de forma antecipada fatores que possam ocasionar pontos críticos em sua estrutura, trata-los de forma preventiva, buscando sempre melhorias em sua execução.
S3	Deve-se observada o estado geral de segurança da barragem, através disso pode-se criar medidas e ações para a segurança.
S4	Indicar as ações que serão adotadas pelo responsável da barragem para a manutenção de segurança
S5	Através dessas revisões são informadas as condições que se encontra a estrutura, mantendo um compromisso de segurança com ser humano e com meio ambiente.

Fonte: O autor (2019).

A intenção de conduzir exames e avaliações periódicos para possíveis revelações de riscos pode prevenir acidentes, ou algo que possa prejudicar as operações, ameaçando a segurança da barragem.

Dessa forma, as justificativas dos pesquisados apresenta a conclusão de que as finalidades de revisões periódicas buscam identificar eventuais problemas técnicos visíveis por meio da inspeção visual, propondo sua correção ou o acionamento de inspeções mais minuciosas específicas para realização de uma inspeção especial, focada especificamente no problema identificado, para resolver as situações e evitar acidentes.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi realizado através de pesquisas acerca do tema barragem de terra, fenômenos patológicos e a importância da fiscalização de barragem, o qual nos permitiu a compreensão da importância da segurança de uma barragem de terra, assegurando mais segurança para a sociedade.

Devidos os diversos casos sobre rompimentos de barragens de terra, foi notado que as falhas estavam na falta de monitoramento, junto aos erros nas fiscalizações das empresas responsáveis, quanto dos órgãos fiscalizadores. Notou-se que casos de erosões, trincas são facilmente encontrados em barragens de terra, propiciando riscos na estrutura da barragem, e possíveis acidentes.

Foi realizado um formulário sobre segurança de barragens de terra para profissionais da área, foi observado que as perguntas foram basicamente iguais, devido a responsabilidade de cada colaborador em buscar conhecimentos bibliográficos para executar as tarefas, e com alto índice de comprometimento com a segurança da barragem.

O objetivo desse trabalho é fazer um estudo bibliográfico sobre tema segurança de barragem de terra, trazendo o máximo de informação para poder auxiliar todos profissionais da área, salientando a importância da segurança de barragens para sociedade, tendo em vista questões economicamente positivas para toda população.

Como não se pode evitar aparições de anomalias no corpo da barragem, pelo fato de ocorrências naturais como retração do solo, abalo sísmico e chuvas intensas, devemos orientar-se sobre manutenções, tanto preventivas como corretivas, sempre como prioridade alta.

Portanto, devem-se aprimorar os métodos de segurança de barragens para que o número de rompimentos não aconteça. Sendo assim, se for seguido todos parâmetros desde a fiscalização ao monitoramento proposto em norma de segurança, pode-se evitar que tais fatos ocorram.

REFERÊNCIAS

- ANA (2017). **Resolução nº 236/2017, de 30 de janeiro de 2017**. Seção 1 do D.O.U de 7 de fevereiro de 2017.
- ANA, Agência Nacional do Águas (Brasil). **Guia Prático de Pequenas Barragens**. -- Brasília: ANA, 2016.
- ANEEL (2015). **Resolução Normativa nº 696/2015, de 15 de dezembro de 2015**. Seção 1 do D.O.U de 22 de dezembro de 2015.
- BAPTISTA, M.B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2010. P. 371 – 391.
- BONAZZI, D., **Reassessment of Safety of Existing Dams, World Bank Technical Paper Number 115**, 1991.
- BRASIL, Lei Federal 12.334 de 2010 – **Subchefia de Assuntos Jurídicos da Casa Civil da Presidência da República do Brasil**. Portal da Legislação. Acesso pela rede mundial de computadores em 25 de março de 2019: <http://www4.planalto.gov.br/legislacao>
- _____, Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. **Manual de segurança e inspeção de barragens**. Brasília, 2002.
- BRITO, A.O. (2012). **Estudos da erosão no ambiente urbano, visando planejamento e controle ambiental no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. Publicação PPG EFL. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 77.
- CBCB (1996). **Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil**. II Simpósio sobre Instrumentação de Barragens, 1: 123p.
- CBDB, COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS, 2011, “**A História das Barragens no Brasil nos Séculos XIX, XX e XXI**. 50 Anos do Comitê Brasileiro de Barragens”. Sindicato nacional dos editores de livros, Rio de Janeiro.
- COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. **Guia básico de segurança de barragens**. São Paulo: CBDB, 2001.
- COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS CIGB; **Procedimentos computacionais para engenharia de barragens**. Boletim 122. Tradução do CBDB, 2008.
- CRUZ, P.T. **100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto**. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

DNPM (2012). **Portaria do Diretor Geral do DNPM nº 416/2012**. Seção 1 do D.O.U de 5 de setembro de 2012.

EUA - Design of Small Dams. **A Water Resources Technical Paper, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, EUA, 1987.**

FIORINI, A.S – **Minicurso de Segurança de barragens, VI SPMCH – Simpósio de Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas / CBDB, 2008** – Acesso pela rede mundial de computadores em 06 de março de 2019: <http://www.cbdb.org.br/site/trabalhosapre.asp>

FONTENELLE, A.S. **Proposta Metodológica de Avaliação de Riscos em Barragens no Nordeste Brasileiro – estudo de caso: barragens do estado do Ceará**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Ed. Atlas, 2002.

ICOLD (1995). **Dam failures statistical analysis. Bulletin 099-1995**, International commission on Large Dams (ICOLD), Paris.

JANSEN, R.B., **Dams and Public Safety**, A Water Resources Technical Paper, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, EUA, 1983.

MACHADO, W.G. de F. **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração**. São Paulo, 2007.

MATOS, S.F - **Avaliação de instrumentos para auscultação de barragem de concreto**. Estudo de caso: deformímetros e tensômetros para concreto na barragem de ITAIPU - Dissertação de Mestrado. Curso de Pósgraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, 2002, Curitiba, Brasil.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Barragens de Terra e Enrocamento**, Cap 5, 2004.

MASSAD, F., 2003, **“Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia”**. São Paulo, editora Oficina de Textos

MCCULLY, P., extraído do capítulo 4 – **When Things Fall Apart: The Technical Failure of Large Dams** - do livro *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams*, 2001 in: <http://www.irn.org/basics/ard/pdf/srdamsafety.pdf>.

MENDONÇA, M.B. de. **Notas de aula da disciplina Obras de Terra**. UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2012.

MENESCAL, R.A. **Gestão de Segurança de Barragens no Brasil – Proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo**. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza – CE, 2009.

MINEIRO, A (1991). **Dimensionamento de barragem de aterro. Novos critérios de segurança.** (Lição Manuel Rocha), Geotecnia, 62: 1-62.

ROMANINI, A. **Aula 04 – Fluxo no Solo – Erosão interna e Ruptura Hidráulica.** Mato Grosso, 2016. Disponível em: <
http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_13086aula_04_-_2_pdf.Aula_04_-_2.pdf> Acesso em: 17/05/2019

SILVA, A.F. **Estudo de barragens de enrocamento com face de concreto sob condições tridimensionais.** Brasília, 2007.

SILVEIRA, J.F.A – **Segurança e Controle de Risco na Realização e Operação de Barragens**, XXVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, 2011, Rio de Janeiro, Brasil.

SMITH JR, D.W. **(dnd) Surveillance measurements within California’s Dam Safety Program.** www.damsafety.water.ca.gov/tech-ref/dws-paper.pdf.

TEIXEIRA, S.H.C. **Curso de capacitação em estruturas de barragens: terra, enrocamento e rejeitos.** Curitiba, 2017.

ONU, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Manual sobre pequenas barragens de terra.** Roma 2011.

WAHL, T.L. **DAM BREACH MODELING – AN OVERVIEW OF ANALYSIS METHODS.** In: Joint Federal Interagency Conference on Sedimentation and Hydrologic Modeling, June 27 - July 1, Las Vegas, NV, 2010.

APÊNDICE – Questionário

Função: _____

1. Em suas palavras, explique o que são as barragens de terra e a sua finalidade:

2. Quais são as anomalias que podem existir em barragens de terra?

3. Quais são os critérios de manutenção para a estabilidade da estrutura das barragens?

4. Quais os instrumentos utilizados para o monitoramento da segurança das barragens?

5. Você conhece a Política Nacional de Segurança de Barragens e o seu objetivo? Explique:

6. O que é Plano de Segurança de Barragens? Quando deve ser elaborado e o qual deve ser o seu conteúdo?

7. Deve-se fazer revisão periódica de segurança da barragem. Qual o objetivo dessa revisão?
