

MIKAELLE DUARTE MARIANO FEITOSA

**INTERVENÇÃO DE SEGURANÇA PARA CONTROLE DE
PERCOLAÇÃO NA BARRAGEM OLHO D'ÁGUA, VÁRZEA
ALEGRE –CE.**

Artigo Científico apresentado ao Curso de Especialização em Segurança de Barragens: Aspectos Técnicos e Legais; Departamento de Engenharia Ambiental-DEA; Escola Politécnica; Universidade Federal da Bahia-UFBA; como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. David de Carvalho

Salvador
2024

Intervenção de Segurança para controle de percolação na Barragem Olho D'água, Várzea Alegre –CE.

Mikaelle Duarte Mariano Feitosa

Resumo

A barragem Olho d'água situada no município de Várzea Alegre no estado do Ceará, ao longo de sua operação, tem apresentado diversas anomalias relacionadas a percolação de água pela fundação e pelo maciço da barragem. No ano de 2022, foram identificadas surgências em vários pontos do talude e na área a jusante da barragem. Diante da situação o empreendedor executou uma ação emergencial que consistiu na limpeza e desobstrução dos poços de alívios da barragem e execução de dreno invertido no talude de jusante. Neste artigo são relatados o histórico do problema, as providências tomadas, a atuação equipe de segurança e as medidas adotadas para a correção da anomalia.

Palavras-chave: Olho D'água. Percolação. Intervenção.

Abstract

The Olho d'água dam located in the municipality of Várzea Alegre in the state of Ceará, throughout its operation, has presented several anomalies related to water percolation through the foundation and the dam embankment. In 2022, water surge were identified at various points on the slope and in the area downstream of the dam. Faced with the situation, the entrepreneur carried out an emergency action that consisted of cleaning and unblocking the dam's relief wells and executing an inverted drain on the downstream slope. This article describes the history of the problem, the measures taken, the security team's actions and the measures adopted to correct the anomaly.

Keywords: Olho D'água. Percolation. Intervention.

1 INTRODUÇÃO

Barragem é qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso de água, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (Brasil, 2010). Dentre os tipos convencionais, as Barragens de Terra são as mais comumente utilizadas no Brasil, devido a disponibilidade de material e pelas condições topográficas do país (Massad, 2010).

As barragens são estruturas importantes para o desenvolvimento da sociedade, no entanto geralmente são obras associadas a um elevado potencial de risco devido à possibilidade de ruptura. Ao longo de sua vida útil estão sujeitas a ocorrência de diversas anomalias e estas anomalias se não controladas, podem acarretar uma emergência (ANA, 2016). As anomalias mais comuns em barragens de terra são: surgências devido à percolação, fissuras, instabilidade dos taludes, depressões (recalques e afundamentos), deficiências nas proteções dos taludes, erosões superficiais, crescimento excessivo da vegetação e tocas de animais. A instrumentação da barragem, juntamente com as inspeções visuais periódicas, são procedimentos de auscultação da barragem, podem conduzir a intervenções em tempo, antes que problemas maiores ocorram.

De acordo com Sandroni e Guidicini (2022), dois terços de todos os acidentes de natureza geotécnica em barragens com acumulação máxima ocorrem devido a percolação. Uma barragem de aterro, mesmo que feita com materiais de alta qualidade, boa densidade e práticas de construção adequadas, sempre há percolação de água pelo corpo do maciço, o que é normal (Costa, 2012). Porém, a percolação excessiva em barragens passa a ser uma preocupação. Para a boa operação das barragens é necessário criar sistema de drenagem interna para controle de percolação da água.

A criação de um sistema de drenagem interno é feita com o intuito de controlar o fluxo de água pelo maciço e na fundação, além de aliviar as pressões que podem comprometer a estabilidade da barragem. Com um sistema de drenagem funcionando adequadamente, é possível reduzir as chances de acidentes.

Este estudo apresenta o caso da barragem Olho d'água que ao longo de sua operação, tem apresentado diversas anomalias relacionadas a percolação de água pela fundação e pelo maciço da barragem. No ano de 2022, foram identificadas

surgências em vários pontos do talude e na área a jusante da barragem. Diante da situação o empreendedor executou uma ação emergencial que consistiu na limpeza e desobstrução dos poços de alívios da barragem e execução de dreno invertido no talude de jusante.

Logo, o objetivo geral deste estudo é apresentar a barragem Olho d'água e seu histórico, com ênfase na intervenção de segurança realizada no ano de 2022. Para tanto, destacam-se os seguintes objetivos específicos: (I) caracterizar a barragem Olho d'água; (II) apresentar o histórico de segurança da barragem, nas fases de projeto, construção e operação; (III) apresentar a anomalia identificada no ano de 2022 e a solução proposta para controle das percolações; (IV) avaliar a ação emergencial executada.

Assim, este trabalho visa contribuir como fonte de consulta e referência para estudantes e profissionais interessados no conhecimento do mecanismo de percolação em barragens e possíveis ações de controle.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Definição e tipos de barragens

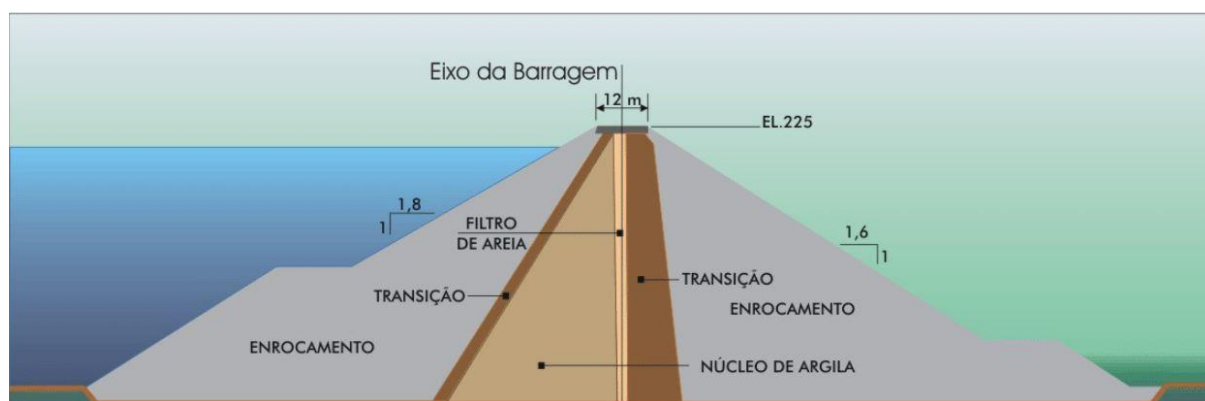
As barragens são estruturas construídas transversalmente à direção de escoamento de um curso d'água, destinada a criação de um reservatório artificial de acumulação de água. São estruturas construídas pelo homem há milhares de anos, que permitiram o desenvolvimento de atividades essenciais, como a agricultura e a pecuária, e, conseqüentemente, o crescimento de cidades e civilizações. Existem diversos tipos e tamanhos, desde pequenas represas para uso local até grandes estruturas com diversas finalidades. Elas podem ser construídas com diferentes técnicas e materiais, como concreto, enrocamento e terra, entre outros. (ANA,2021)

Para Marangon (2004) as barragens de concreto são mais resistentes e de menor custo de manutenção. Este tipo pode ser adaptado para todos os locais, mas a sua altura é limitada pela resistência das fundações. As barragens de gravidade resistem aos esforços hidrostáticos pelo peso próprio descarregando as tensões na fundação, enquanto as barragens em arco descarregam todas as tensões nas

ombreiras. As condições topográficas e a disponibilidade de materiais de construção, podem definir o melhor tipo de barragem para cada situação específica.

Em barragens de enrocamento, o aterro é composto por fragmentos de rocha ou cascalho, dispostos em camadas. São constituídas de uma superfície impermeável, composta por solos e filtros de material granular. Apresenta-se na Figura 1 uma seção transversal típica de uma barragem de enrocamento. Nessas estruturas os taludes podem ser mais íngremes do que as barragens de terra, o que torna possível reduzir significativamente o volume da barragem. Essas soluções podem ser adotadas, sempre que houver disponibilidade de enrocamento, seja proveniente de escavações obrigatórias ou de jazidas próximas à obra, e as fundações sejam de boa resistência (ANA, 2016).

Figura 1 - Seção transversal típica Barragem de Enrocamento



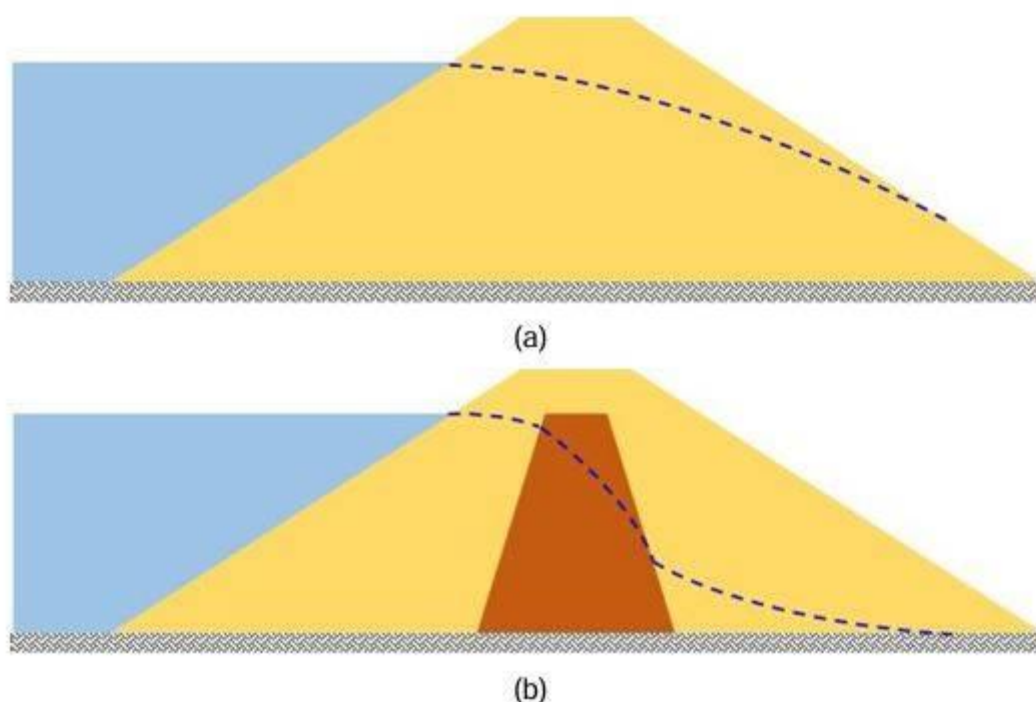
Fonte: Itaipu Binacional (2024).

As barragens de terra são as mais comumente utilizadas e normalmente se prestam para qualquer tipo de fundação, desde a rocha compacta, até terrenos constituídos de materiais inconsolidados (Marangon, 2004). Conforme ANA (2016) essas estruturas podem ser homogêneas ou zonadas, sendo essa decisão tomada de acordo com o volume e a qualidade dos materiais existentes no local, os processos construtivos a serem usados e os solos que constituem as fundações da barragem.

As barragens homogêneas são compostas de um único material, com permeabilidade reduzida para formar uma barreira adequada contra a água e os taludes precisam ser relativamente suaves, para atenderem adequadamente ao princípio da estabilidade.

Caso inexistam no local as quantidades suficientes de material para a construção de uma barragem do tipo homogênea, recomenda-se a utilização de uma barragem do tipo zonada (ANA,2016). Marangon (2004) define as barragens zonadas como estruturas constituídas por um núcleo central impermeável, envolvido por materiais consideravelmente mais permeáveis que protegem o núcleo. As áreas permeáveis são constituídas de areia, cascalho ou fragmentos de rocha, ou uma mistura desses materiais. Apresentam-se na Figura 2 seções típicas de barragens de terra homogênea e zonada.

Figura 2 - Seção transversal típica Barragem Terra Homogênea(a) e Zonada (b)



Fonte: Adaptado de Teixeira e Gomes (2017).

2.2 Anomalias em barragens de terra

As estruturas são afetadas pelo tempo e, conseqüentemente, as barragens de terra podem apresentar defeitos devido à qualidade do material, falhas no projeto e na execução, sendo esses defeitos chamados de anomalias. A Resolução ANA Nº 121 em seu art.3º, inciso I, define anomalia como “qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa afetar a segurança da barragem”.

De acordo com o Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem, as anomalias mais comuns em barragens de terra são: surgências devido à percolação, fissuras, instabilidade dos taludes, depressões (recalques e afundamentos), deficiências nas proteções dos taludes, erosões superficiais, crescimento excessivo da vegetação e tocas de animais (ANA, 2016).

2.3 Percolação e dispositivos de controle da percolação

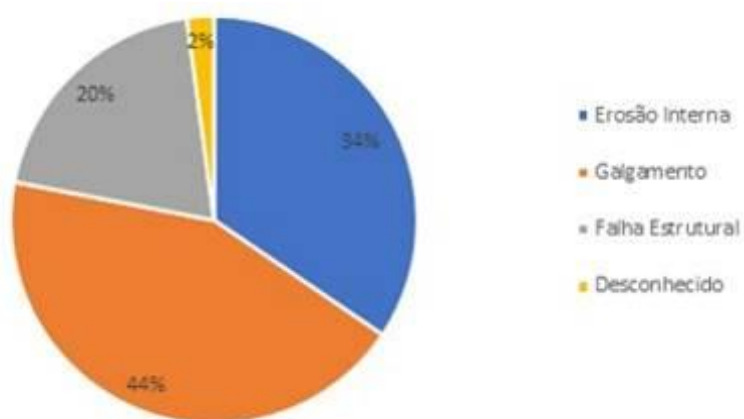
A percolação ou infiltração é o movimento contínuo da água a partir da face de montante em direção à face de jusante. Esse movimento é influenciado pelo grau de compacidade do solo e pelo nível de saturação (ANA, 2014). Assim, todos os aterros e suas fundações ficam sujeitos às ações da água de percolação proveniente do reservatório.

Diversas são as anomalias causadas pela percolação da água no solo, resultando em problemas estruturais em barragens e afetando sua estabilidade, dentre elas podemos destacar as surgências de água que podem conduzir a erosões internas e na fundação.

A surgência é a ocorrência de água, por percolação, na face do talude de jusante da barragem, nas ombreiras, no pé de jusante e na região a jusante da barragem. Essa percolação deve ser controlada de acordo com o princípio do controle de fluxo, para evitar o risco de fenômenos de erosão interna (ANA, 2016).

De acordo com o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, o fenômeno de erosão interna (*piping*) ocorre quando a água de percolação surge de forma descontrolada e inicia o arrastamento das partículas de solo do interior do aterro ou da fundação, que tendem a se propagar para montante a partir do ponto de saída das águas até atingir o talude ou superfície da fundação. Esse fenômeno pode conduzir a barragem à ruptura.

Segundo Icold (2019) a erosão interna é uma das principais causas de ruptura de barragens, representando 34 % dos acidentes (Figura 3). Assim, a prevenção de problemas devido à percolação é um aspecto fundamental na fase de projeto da barragem.

Figura 3 - Causas de ruptura em barragens

Fonte: Icold (2019).

Para Menezes (2019) os projetos de estruturas para o controle de percolação têm como objetivo principal diminuir a percolação, minimizar ou controlar os gradientes de saída, diminuir a linha de saturação no talude de jusante e o nível de subpressões na fundação. Para o controle dos fluxos de percolação nas barragens e suas fundações existem dois tipos de soluções, os sistemas de drenagem e sistema de impermeabilização.

Como descrito por ANA (2016) o sistema de drenagem interno é composto por filtros inclinados ou verticais, drenos horizontais, drenos de pé, poços de alívio e trincheiras de drenagem. Enquanto o sistema de impermeabilização de fundação pode incluir trincheiras de vedação (*cut-offs*), cortinas de injeção e tapetes impermeáveis, com o objetivo de reduzir vazões pela fundação e gradientes de saída a jusante. Como regra geral as soluções de impermeabilização devem ser apenas consideradas à montante e as de drenagem à jusante.

Conforme Marangon (2004) os filtros podem ser verticais ou inclinados e normalmente são constituídos de um único material, na maioria das barragens, de areia natural. Este dispositivo de drenagem tem como principal função interceptar a percolação através da barragem, e conduzir a água para jusante, através do tapete drenante. Já os tapetes drenantes, em geral, estão apoiados sobre a superfície de fundação e podem ser compostos por diversas camadas de materiais, com alta permeabilidade, permitindo o escoamento das águas drenadas.

Em complemento ao sistema de drenagem interno, são projetados os drenos de pé de jusante para assegurar a continuidade ao tapete drenante e oferecer uma segurança adicional, em caso de colmatagem do filtro ou do tapete drenante (ANA,

2016). Além desses dispositivos, para a drenagem da fundação, podem ser adotados trincheiras drenantes e poços de alívio. Como descrito por Massad (2010), os poços de alívio são poços abertos e preenchidos com material granular, mais permeável do que o solo de Fundação, com a finalidade de controlar a saída d'água.

A Trincheira de vedação é uma escavação, feita na fundação, preenchida com solo compactado nas mesmas condições do núcleo, com a finalidade de interromper o fluxo pela fundação. Enquanto os tapetes impermeáveis são um prolongamento da barragem de terra para montante, com o objetivo de aumentar o caminho de percolação (Massad, 2010).

3 METODOLOGIA

A metodologia geral deste trabalho consistiu na realização de levantamento bibliográfico a respeito dos temas abordados, seguido de análise documental para levantamento de características técnicas e histórico da barragem Olho d'água. Por fim, descreveu-se a Intervenção de Segurança realizada na barragem. Deste modo, o estudo seguiu as etapas descritas a seguir.

- **Levantamento bibliográfico**

A etapa de levantamento bibliográfico visou realizar uma investigação dentre os principais autores que tratam sobre o tema relacionado as barragens de terra e percolação, para situar o leitor no tema, para tanto foram consultados livros e artigos científicos.

- **Análise documental**

A etapa de análise objetivou examinar e compreender o teor de documentos dos mais variados tipos e deles, obter informações sobre as características técnicas da barragem em estudo e seu histórico nas fases de projeto, construção e operação. Foram utilizadas como fonte de pesquisa o projeto executivo da barragem, atas de reuniões do Painel de Inspeção de Segurança de Barragens, além de relatórios internos da Cogerh.

- **Descrição e avaliação da intervenção de segurança**

Nesta etapa foram elencadas as providências tomadas, a atuação equipe de segurança e as medidas adotadas para a correção da anomalia identificada na barragem no ano de 2022. E ainda a avaliação dos resultados da intervenção de segurança.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características técnicas da barragem

A barragem Olho D'água (Figura 4), localizada no município de Várzea Alegre, no estado do Ceará, é um empreendimento Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. A estrutura intercepta o riacho do Machado, localizado na bacia hidrográfica do rio Salgado.

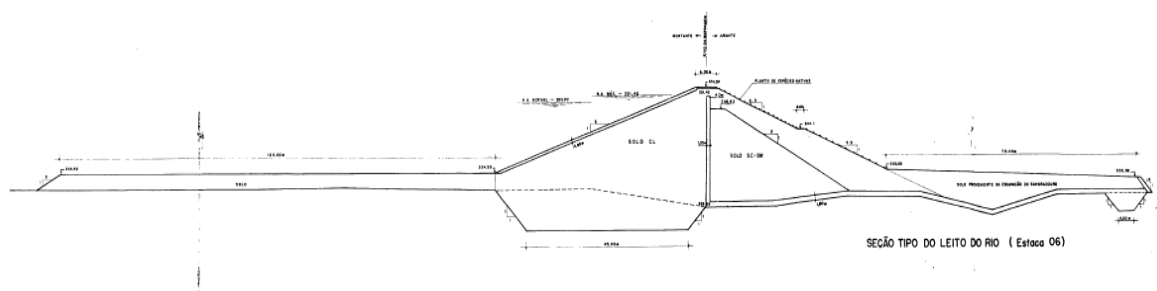
Figura 4 – Barragem Olho d'água



Fonte: Cogeh (2022).

segurança da estrutura. O sistema de drenagem interna, constituído de filtro vertical, tipo chaminé com 1,0 m de largura, com topo situado 2,0 m abaixo da crista da barragem. Segundo o projeto, este filtro está interligado a um tapete drenante horizontal que se prolonga até o pé da berma (Aguasolos ,1988). Apresenta-se na Figura 6 a seção tipo do projeto executivo da barragem Olho d'água.

Figura 6 - Seção tipo da Barragem Olho d'Água segundo Projeto Executivo



Fonte: Aguasolos (1988).

Estava prevista a construção de um tapete impermeável a montante na ordem de 120 metros, de uma trincheira de vedação parcial na área do rio, para interceptar o fluxo nos primeiros metros da areia da fundação. E a jusante foi projetado um tapete drenante, com cerca de 70 metros, com a função de captar as águas que percolariam pela fundação, conduzindo-as ordenadamente para fora da área da obra, além de evitar o carreamento das partículas finas da fundação (Aguasolos,1988).

4.2.2 Construção

A obra foi iniciada em outubro de 1993, sendo que a execução da Barragem esteve a cargo do 3º Batalhão de Engenharia de Construção. De acordo com Araújo (2013), o projeto executivo foi objeto de várias alterações durante o prolongado período construtivo, porém a barragem não possui *As Built*. O projeto foi modificado para uma barragem zonada, na região de montante em solo ML e tipo Random para jusante, com interface praticamente vertical das zonas.

Durante a fase construtiva, o tapete impermeabilizante de montante foi bastante reduzido na extensão, ficando com aproximadamente 16 m, e o tapete drenante a jusante não foi executado. Segundo relatos feitos por empregados e representantes da obra, isso ocorreu em virtude de uma olaria instalada na área durante período compreendido entre o projeto e a execução, quando houve uma grande retirada do material argiloso que havia sido locado em projeto, indispensável para a execução do tapete impermeabilizante (Araújo, 2013).

Ainda de acordo com a Ata nº 53 do Painel de Inspeção e Segurança de barragens (PISB), observou também que, pela dificuldade de se dispor de areias com as características adequadas no local da obra, o sistema de drenagem interno da barragem previsto no projeto original foi deslocado para jusante. Com isso, o filtro vertical só alcança a cota 337,50 m (SRH,2005).

4.2.3 Operação

Após a inauguração, que ocorreu em 30 de junho de 1998, a barragem já apresentava diversas anomalias e, mesmo com o açude parcialmente cheio, foram identificadas anomalias relacionadas ao regime de fluxo na fundação, evidenciadas pela ocorrência de intenso artesianismo em uma extensa área a jusante do maciço (SRH, 2005).

Em abril de 2001, a convite da Cogerh, o Painel, composto pelos engenheiros Paulo Teixeira da Cruz e Ronei Carvalho, visitou o local da barragem. Na ocasião, os especialistas observaram a formação de vulcões de areia, indicando em seu relatório que:

O principal problema desta barragem diz respeito ao controle do fluxo pela fundação, na área da baixada aluvionar, existem evidências suficientes para se poder concluir que há um fluxo significativo de água pelo aluvião de fundação da barragem, que no momento é superior a 18 l/s (SRH,2005).

A principal recomendação para controlar a anomalia identificada foi o recobrimento dos pontos onde ocorriam os vulcões de areia com uma camada de areia grossa (20 cm) seguida de brita (30 cm), para evitar um eventual *piping* (SRH, 2005).

Em 2005, o PISB retornou à Barragem Olho d'Água, para inspecionar as trincas que ocorriam na crista da barragem, erosões no talude de jusante e as áreas

saturada e alagadas a jusante da barragem. Na ocasião, foram sugeridas as recomendações apresentadas no Quadro 1:

Quadro 1 – Anomalias identificadas e recomendações para correções

Anomalia	Recomendação
Trincas na crista	Investigações das trincas a partir da abertura de trincheiras em toda a crista da barragem, procurando seguir as trincas longitudinais. Escolher, então, 2 a 3 pontos e abrir poços para observar em profundidade o que acontece até o ponto de fechamento de cada trinca.
Erosões no talude de jusante	Regularização da superfície e a execução de sua proteção com gramínea regional
Áreas saturadas e alagadas na região a jusante	Abertura de valas de drenagem, escavadas com retroescavadeira e com profundidades de 0,80 m a 1,0 m. Limpeza dos canais atuais próximos ao pé da barragem, dando escoamento mais livre às águas. Monitoramento da área alagada

Fonte: Elaborado a partir de SRH (2005).

Após as recomendações do PISB a Cogerh apresentou um projeto alternativo de drenagem da fundação da barragem Olho d'Água, que consistia na abertura de uma valeta drenante, seguida por drenos de alívio. O PISB realizou a análise do projeto apresentado sugerindo ainda algumas alterações que resultaram na intervenção realizada no ano de 2006. As figuras 7, 8 e 9 mostram as fotos dos serviços de recuperação realizados.

De acordo com o Plano de Segurança da Barragem - Registros e Controles, em 2006 foi executada a recuperação do talude com aplicação de uma proteção vegetal, perfuração de 39 poços de alívio na região a jusante (Figura 7) e construção de um canal com um vertedouro trapezoidal para possibilitar o monitoramento das vazões das surgências interligadas a uma trincheira drenante (Cogerh, 2020).

Figura 7 – Poços de alívio e sistema coletor



Fonte: Cogerh (2020).

Na ocasião da obra de recuperação, para a correção da erosão do talude de jusante, foi executada a regularização e o preenchimento com aterro argilo arenoso compactado, devidamente protegido por plantio vegetal (Figura 8).

Figura 8 – Recomposição do talude de jusante e plantio vegetal



Fonte: Cogerh (2020).

Para evitar a condição de areia movediça e carreamento de areia, foi executada uma trincheira drenante a jusante do aterro da barragem (Figura 9), visando disciplinar a saída d'água a jusante da obra e neutralizar a condição de gradiente crítico (areia movediça). Além disso, foi realizada manutenção (desassoreamento e reparos) das canaletas de drenagem superficial. Foram instaladas, ainda, três seções instrumentadas, constando de medidores de níveis d'água e piezômetros do tipo Casagrande, no talude de jusante e na região a jusante (Cogerh, 2020).

Figura 9 – Trincheira Drenante



Fonte: Cogerh (2020).

Em 2014 foi realizada mais uma obra de recuperação na barragem Olho d'água. As obras iniciaram em março e finalizaram em junho do mesmo ano, com 3 meses e 1 semana de duração. Na ocasião, os serviços de recuperação executados na barragem consistiram na execução de três escadas de acesso a instrumentação (piezômetros), limpeza e pintura das canaletas, e taludamento no canal de aproximação do vertedouro (Cogerh, 2020).

Em maio de 2022 o Agente de Guarda e Inspeção de Reservatório (Agir) constatou, durante inspeção de rotina, áreas úmidas no talude de jusante da barragem. Na ocasião a Gerência de Segurança e Infraestrutura (Gesinde) contatou o consultor de engenharia geotécnica e foi realizada reunião virtual sobre a situação na barragem. Diante da densa vegetação existente no talude de jusante que impedia o diagnóstico do problema o consultor recomendou execução de limpeza geral, pois a umidade poderia ser decorrente de água pluvial acumulada na vegetação sobre o talude. Após conclusão da limpeza foi verificado que as áreas úmidas eram decorrentes de percolações internas que surgiam no talude de jusante principalmente nas laterais das canaletas de drenagem superficial (Cogerh, 2022).

No dia 26 de maio de 2022 a equipe de segurança de barragens da Gesinde realizou inspeção de segurança regular na barragem (ISR), na ocasião o reservatório se encontrava com acumulação máxima, durante a inspeção foi observada presença de cupinzeiros, além de quatro pontos de surgência no talude, artesianismo nos piezômetros instalados no pé de jusante e áreas alagadas na região a jusante. Além disso na ocasião foi verificada vazão de 26 l/s coletada pelos

poços de alívio e direcionadas para uma calha através de trincheira drenante. Apresenta-se na Figura 10 o registro das principais anomalias identificadas na ISR.

Figura 10 – Anomalias identificadas na ISR



Fonte: Cogeh (2022).

Após a inspeção da Gesin, foi confirmada a classificação do Nível de Perigo Global da Barragem (NPGGB) como ALERTA, ou seja, quando o efeito conjugado das anomalias compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para eliminá-las.

Assim sendo, foi realizada nova reunião com o consultor e apresentada a evolução das condições da barragem. Diante deste contexto, foi definido a construção imediata de um dreno invertido na região das surgências no talude, desobstrução dos poços de alívio e o monitoramento diário dos piezômetros.

4.3 Intervenção de Segurança

Após a identificação do aumento das surgências no talude, obstrução dos poços de alívio e artesianismo nos piezômetros da região a jusante; e a classificação da barragem com NPGB – Alerta, a Cogerh, realizou de imediato, com equipe interna, os serviços de limpeza e desobstrução do sistema de drenagem no pé de jusante da barragem, inclusive dos poços de alívio.

Os serviços de manutenção desta primeira etapa consistiram em: manutenção na trincheira drenante, desobstrução dos poços de alívio, limpeza e manutenção do sistema coletor secundário e limpeza e desobstrução dos canais de escoamento.

A trincheira drenante localizada no pé do talude de jusante, possui acesso através de quatro poços de visita. Foi realizada a limpeza dos poços de visita e da tubulação através de jatos de água (Figura 11).

Figura 11 – Limpeza de poços de visita e tubulação da trincheira drenante



Fonte: Cogerh (2022).

O sistema de poços de alívio, composto por 39 poços em tubos PVC de 75mm com profundidade média de 06 (seis) metros, e um sistema coletor secundário, constituída de tubos PVC de 100 mm. Durante a execução dos serviços de manutenção foi observado que o sistema era constituído de tubos de baixa resistência mecânica, o que acarretou a deformação e fechamento de maior parte do sistema (Figura 12). Além disso, foi identificada irregularidade na inclinação comprometendo a eficiência do fluxo de drenagem.

Figura 12 – Tubulação obstruída sistema coletor secundário



Fonte: Cogerh (2022)

Em cada poço foi realizada uma limpeza mecânica através de trepano e jato d'água. Dessa maneira foi retirado todo o material argilo-arenoso sedimentado nos poços de alívio, melhorando substancialmente a capacidade de drenagem. Foram executados trabalhos de limpeza mecânica com jato d'água nos trechos obstruídos por preenchimento de material ou incrustação e, a substituição parcial da tubulação danificada do sistema coletor secundário. Apresenta-se nas figuras 13 e 14 a limpeza dos poços e a manutenção do sistema coletor secundário.

Figura 13 - Limpeza dos poços de alívio



Fonte: Cogerh (2022).

Figura 14 – Manutenção do sistema coletor secundário



Fonte: Cogeh (2022).

A jusante da barragem existe dois canais escavados no terreno que conduzem a água proveniente das percolações da região a jusante para um medidor de vazão. Esses canais encontravam-se obstruídos por sedimentos e vegetação, comprometendo o escoamento da água acumulada. Assim, foi executada a desobstrução e retificação dos canais com utilização de retroescavadeira (Figura 15).

Figura 15 – Desobstrução e retificação dos canais de escoamento



Fonte: Cogeh (2022).

As intervenções realizadas na primeira etapa reduziram as áreas úmidas no talude de jusante, entretanto algumas surgências permaneceram. Neste contexto, foi elaborado projeto para intervenção emergencial de caráter provisório na estrutura, composto principalmente de um dreno invertido a ser instalado nos locais de surgências ainda existentes.

A segunda etapa desta intervenção, realizada através da contratação de serviços de engenharia, consistiu na execução de drenos invertidos, extração de cupinzeiros, recomposição de aterro, substituição de tubos do sistema coletor secundário e construção de medidores de vazão.

Os drenos eram compostos de camada de areia grossa e sacos de brita, de forma a evitar o carreamento de material do maciço da barragem e permitir o direcionamento controlado das fugas d'água até o pé de jusante da barragem. Foram executados três drenos na região em que foram identificadas as surgências em alinhamento transversal ao eixo da barragem desde o coroamento (Figura 16). As surgências localizavam-se principalmente na região da ombreira esquerda da barragem.

Figura 16 – Dreno invertido



Fonte: Cogerh (2022).

Ainda no talude de jusante, foi feita a escavação e retirada dos cupinzeiros, além do tratamento com cupinicida e a recomposição do aterro. Na região a jusante, foi complementada a troca dos tubos coletores dos poços de alívio (Figura 17) e a execução de duas caixas de medidor de vazão, a fim de seccionar a barragem em três partes para monitorar a água percolada para os poços de alívio (figura 18).

Figura 17 – Substituição dos tubos do sistema coletor



Fonte: Cogerh (2022).

Figura 18 – Medidores de vazão região a jusante



Fonte: Cogerh (2022)

4.4 Avaliação dos resultados

Após a conclusão dos serviços da primeira etapa de intervenção na barragem, observou-se que o sistema auxiliar de drenagem da barragem voltou a operar de forma mais eficiente. Nos dias que seguiram à intervenção a inspeção visual da barragem permitiu observar a redução das áreas saturadas no talude, principalmente aquelas localizadas na parte superior, acima da berma. Também se verificou que as canaletas de drenagem já não apresentavam escoamento de água (Figura 19).

Figura 19 - Canaletas de drenagem antes (a) e após(b) a intervenção



Fonte: Cogerh (2022).

A segunda etapa da intervenção permitiu controlar as percolações ainda identificadas no talude e garantiu uma melhor eficiência do sistema de drenagem auxiliar com a substituição completa dos tubos do sistema coletor evitando o encharcamento da região a jusante. Ademais, a manutenção do sistema coletor e a construção de novos medidores de vazão permitiram um monitoramento mais efetivo das vazões de percolação da barragem.

É importante destacar que apesar de não existir nenhuma seção instrumentada na região onde foram identificadas estas anomalias, foram acompanhadas as leituras da instrumentação onde pode ser observado um rebaixamento da linha freática. A Figura 20 é uma vista geral da barragem após a intervenção, na imagem é visível que a área onde existia a surgência se encontra totalmente seca, confirmando o fato de que o dreno alcançou um resultado satisfatório, controlando a anomalia ali existente.

Figura 20 - Vista geral da barragem Olho d'água após a intervenção



Fonte: Cogeh (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma síntese do histórico da barragem Olho d'água e as intervenções realizadas ao longo de sua operação, com ênfase na intervenção de segurança realizada no ano de 2022. Com base nos resultados obtidos e nas informações coletadas, são apresentadas as conclusões finais.

É fundamental o monitoramento contínuo da barragem, a realização de inspeções rotineiras, pelo Agir, permitiu a detecção das surgências e motivou a realização de uma inspeção de segurança por técnicos habilitados para diagnosticar o problema e recomendar providências. Salienta-se que a presença de uma equipe de segurança da barragem, capaz de providenciar a correção do problema tão logo detectado, foi essencial para evitar o agravamento da situação.

Através deste estudo foi possível concluir que a deficiência no sistema de drenagem interna da barragem Olho d'água que ocasionou a saturação do talude de jusante, poderia comprometer a segurança da estrutura, caso não fossem executadas intervenções no empreendimento. A execução do dreno invertido e a

limpeza e desobstrução do sistema de drenagem auxiliar da barragem alcançou um resultado satisfatório, controlando a anomalia ali existente.

A intervenção de segurança realizada na barragem Olho d'água permitiu a resolução das anomalias que poderiam comprometer a estabilidade do empreendimento naquela ocasião. Assim, após a conclusão da intervenção, o Nível de Perigo Global da Barragem foi classificado em ATENÇÃO, pois apesar da anomalia ter sido controlada e não comprometer de imediato a segurança da barragem, devem ser tomadas medidas complementares para garantir a segurança da barragem.

Portanto, recomenda-se a realização de Inspeção de Segurança por equipe multidisciplinar de especialistas, estudos de estabilidade e parecer conclusivo sobre as condições de segurança da estrutura, além de elaboração de Projeto de recuperação da barragem.

REFERÊNCIAS

AGUASOLOS, Aguasolos Consultoria de Engenharia Ltda. **Açude Olho D'água – Projeto Executivo – Tomo I: Relatório Geral**. Fortaleza, 1988.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Curso de Segurança de Barragens, Barragens de Terra e Enrocamento**. Brasília: ANA, 2014. 88 p.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Diretrizes para a Elaboração de Projeto de Barragens**. Brasília. ANA, 2016. 160 p. Disponível em: https://www.snish.gov.br/Entenda_Mais/volume-v-diretrizes-para-a-elaboracao-de-projetos-de-barragens. Acesso em: 10 março 2024.

ANA, Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. **Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem**. Brasília: ANA, 2016. 218 p. Disponível em: https://www.snish.gov.br/Entenda_Mais/volume-ii-guia-de-orientacao-e-formularios-para-inspecoes-de-seguranca-de-barragem. Acesso em: 10 março 2024.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Relatório de Segurança de Barragens 2020**. 130 p. Brasília, ANA, 2021. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snish/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2020/rsb-2020.pdf>. Acesso em: 03 março 2024.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução nº 121, de 09 de maio de 2022. Brasília**. ANA, 2022. Disponível: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-ANA/2022/Resolucao-ANA-121.pdf> Acesso em: 25 janeiro 2024.

ARAÚJO, Franklim Rabelo de. **Risco geotécnico: uma abordagem estocástica para análise da estabilidade de Taludes da Barragem Olho d'Água no Estado do Ceará**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/11330>. Acesso em: 13 janeiro 2024.

BRASIL, Brasília. Lei 12.334 (2010). **Política Nacional de Segurança de Barragens**. Distrito Federal, 20 de setembro, 2010.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Plano de Operação de Manutenção do Sistema de Água Bruta do Estado do Ceará - POM**. Fortaleza: COGERH, 2008.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Plano de Segurança da Barragem Olho d'água: Registros e Controles**. Fortaleza: COGERH, 2020.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Relatório de Inspeção de Segurança Regular**. Fortaleza: COGERH, 2022.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Relatório Técnico Manutenção do Sistema de Drenagem da Barragem Olho D'água**. Fortaleza: COGERH ,2022.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Termo de Referência Ação Emergencial na Barragem Olho d'água**. Fortaleza: COGERH ,2022.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ICOLD, *International Commission on Large Dams*. **Statistical analysis of dam failures**. *Bulletin 99 update*, 2019.

ITAIPU BINACIONAL. **Características da Barragem**. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/caracteristicas-da-barragem>. Acesso em: 28 março 2024

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra: Unidade 05 – Barragens de terra e enrocamento**. 2004.

MASSAD, F. **Obras de terra - 2a. Edição, com exercícios resolvidos**. 2 ed. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2010.

MENEZES, Thaís Teixeira. **Análise de percolação em barragem de terra pelo método dos elementos finitos**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas, 2019. Disponível em: <https://ulbra-to.br/bibliotecadigital/uploads/document606f188796583.pdf>. Acesso em: 20 janeiro 2024.

SANDRONI, Sandro Salvador; GUIDICINI, Guido. **Barragens de terra e enrocamento**. Oficina de Textos, 2022.

SRH, Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará. **Ata Reunião do Painel de Inspeção de Segurança de Barragens**. Fortaleza: SRH, 2005.

TEIXEIRA, Rafael Lemos; GOMES, Matheus de Oliveira. **Análise e desenvolvimento de projeto construtivo de uma pequena barragem de terra no Córrego da Cava – Morrinhos/GO, com foco na segurança**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/126>. Acesso em: 18 janeiro 2024.