

# Diagnóstico e execução de ações corretivas em barragem de terra: Estudo de caso da barragem Poleiros em Barra de Santa Rosa-PB

Rodrigo de Andrade Barbosa <sup>[1]</sup>, Mateus Cunha Mayer <sup>[2]</sup>, Ana Alves Brito <sup>[3]</sup>, Francisco de Oliveira Mesquita <sup>[4]</sup>, Salomão de Sousa Medeiros <sup>[5]</sup>, Emanuel Lima Martins <sup>[6]</sup>

[1] rodrigo.barbosa@insa.gov.br. [2] mateus.mayer@insa.gov.br. [3] ana.araujo@insa.gov.br. [4] francisco.mesquita@insa.gov.br. [5] salomao.medeiros@insa.gov.br. [6] emanoel.martins@insa.gov.br. Instituto Nacional do Semiárido/Núcleo de Recursos Hídricos

## RESUMO

As barragens de terra são estruturas construídas com inúmeras finalidades, porém, a mais comum é o acúmulo de água para a agricultura e abastecimento humano. O grande volume de água armazenado, formando um grande reservatório, gera benefícios incontestáveis para a população, como também riscos, caso não seja bem edificado, podendo prejudicar a vida das pessoas, bens e o meio ambiente. No intuito de evitar acidentes envolvendo esses empreendimentos, existem leis e políticas que exigem a fiscalização e manutenção, procurando minimizar os riscos e falhas. Objetivou-se, através deste trabalho, identificar anomalias e demonstrar as ações corretivas necessárias para recuperar a estrutura da barragem Poleiros. Essas ações são essenciais para que o empreendimento opere de acordo com o projeto, atendendo as suas finalidades, minimizando os possíveis riscos à população e ao meio ambiente. A identificação de anomalias existentes foi realizada através da técnica de inspeção visual. Essa técnica consiste em caminhar sobre todas as estruturas da barragem, examinando metro a metro, identificando a existência de sinais que possam indicar possíveis anomalias futuras no maciço da barragem ou em suas estruturas de apoio. A execução das ações corretivas possibilitou recuperar a barragem, minimizando os riscos de ruptura.

**Palavras-chave:** Barragem de terra. Manutenção. Anomalias. Ações corretivas.

## ABSTRACT

*Earth dams are structures built for countless purposes, however, the most common is the accumulation of water for agriculture and human supply. The large volume of water stored, forming a large reservoir, generates indisputable benefits for the population, as well as risks, if it is not well built, which can harm the lives of people, goods and the environment. In order to avoid accidents involving these projects, there are laws and policies that require inspection and maintenance, seeking to minimize risks and failures. The objective of this work was to identify anomalies and demonstrate the corrective actions necessary to recover the structure of the Poleiros dam. These actions are essential for the project to operate in accordance, serving its purposes, minimizing the possible risks to the population and the environment. The identification of existing anomalies was performed using the visual inspection technique. This technique consists of walking over all the structures of the dam, examining meter by meter, identifying the existence of signs that may indicate possible future anomalies in the dam massif or in its support structures. The execution of corrective actions made it possible to recover the dam, minimizing the risk of rupture.*

**Keywords:** *Earth dam. Maintenance. Anomalies. Corrective actions.*

## 1 Introdução

O município de Barra de Santa Rosa está inserido na bacia hidrográfica do Curimataú, que possui rios intermitentes e historicamente passa por estiagens severas. Com isso, há a necessidade de acumular água em tempos de chuva para posterior utilização. A construção de barragens de acumulação, formando grandes reservatórios de água, é uma alternativa importante para a gestão dos recursos hídricos. A necessidade de água para abastecer o município de Barra de Santa Rosa-PB incitou a construção da Barragem Poleiros em 1986, com a finalidade de represar água, tanto para consumo humano como para outras atividades, tais como irrigação e produção industrial.

Os benefícios oriundos do represamento de água são numerosos, mas existem alguns malefícios, pois as barragens são obras de engenharia e estão expostas ao ambiente, sujeitas à degradação de sua estrutura, ocasionando risco de ruptura. Sendo assim, é necessário a manutenção contínua, a fim de assegurar que as barragens permaneçam em operação e capazes de desempenhar todas as finalidades de projeto, sem colocar em risco pessoas e propriedades à jusante.

Uma barragem segura é aquela cujo desempenho satisfaça às exigências de comportamento necessárias para evitar incidentes e acidentes, que se referem a aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais (BRASIL, 2002).

A barragem Poleiros foi empreendida pela Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente, da Ciência e Tecnologia do estado da Paraíba (SERHMACT-PB), a qual possui toda responsabilidade sobre o empreendimento. Todavia, a barragem encontrava-se sem manutenção durante vários anos, suscitando na população do município de Barra de Santa Rosa o medo de um possível rompimento do maciço da barragem. Tal problema foi notificado em 2005 e divulgado no jornal Folha de São Paulo, de acordo com Bortoloti (2005).

Em 2014, o Governo do Estado da Paraíba lançou o Programa de Recuperação de Barragens Públicas (PRBP), com o objetivo de recuperar as barragens sob sua responsabilidade. Nessa conjuntura, montou-se uma equipe composta por técnicos da SERHMACT e da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, que avaliaram dezenas de barragens, incluindo a Poleiros. Segundo um dos engenheiros responsáveis pelo PRBP, os principais

problemas verificados nas barragens consistiam em erosões profundas nas suas estruturas, devido a ações do ambiente e a falta de manutenção durante vários anos (PARAÍBA, 2014).

Objetivando diagnosticar e solucionar os problemas na barragem Poleiros, foram realizadas duas visitas de campo, utilizando a técnica de inspeção visual, seguindo recomendações do Plano Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). A situação da barragem Poleiros foi analisada detalhadamente para a identificação das anomalias e posterior recuperação da sua estrutura, favorecendo a segurança da mesma e, conseqüentemente, da população. As atividades de recuperação da barragem tiveram início em agosto e término em dezembro de 2014.

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Histórico

A barragem Poleiros foi construída na década de 80, na gestão do governador Wilson Braga, através do projeto Canaã, que tinha como objetivo amenizar o impacto da seca no estado da Paraíba. Foi projetada e construída com a finalidade de acumular água para abastecimento humano, melhorando a qualidade de vida da população. Quando a sua obra foi concluída em 1986, toda a água captada para abastecimento humano pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA passou a sair da barragem Poleiros (ANA, 2014a).

Hoje, a barragem é essencial para a gestão dos recursos hídricos do município de Barra de Santa Rosa, pois é a principal fonte de água para abastecimento humano, dessedentação animal, agricultura, aquicultura e produção industrial. Segundo dados da AESA, a barragem Poleiros possui uma capacidade máxima de 7.933.700 m<sup>3</sup> (AESA, 2014).

Após o rompimento da barragem de Camará, em Alagoa Grande/PB, a preocupação com o risco de ruptura de barragens aumentou e, no ano de 2005, a barragem Poleiros, sem manutenção desde a sua construção, foi considerada um ponto de risco, devido a erosões e rachaduras na sua parede principal (BORTOLOTTI, 2005). Os anos se passaram e a barragem só veio a ser beneficiada com manutenção no ano de 2014, através do Projeto de Recuperação de Barragens Públicas, criado e implantado pela gestão do governador Ricardo Coutinho (PARAÍBA, 2014).

## 2.2 Legislação sobre a segurança de barragens

No Brasil, a prática de construção de barragens para fins diversos é utilizada há centenas de anos, porém, o surgimento de legislações regulamentadoras da segurança de tais empreendimentos surgiu de forma lenta e somente após a criação do Comitê Brasileiro de Segurança de Barragens (CBDB), em 1982 pela Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB), é que o interesse por esse tema foi despertado.

A segurança de barragem passou a ser abordada pelos estudiosos da área, a exemplo de Menescal (2009), que alertou sobre a importância da segurança de barragens e sua regularização. Em 2010, o Brasil criou a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, sobre segurança de barragens, sendo a maior conquista da legislação brasileira sobre o tema, pois ela estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens (SNISB). Assim, o poder público se tornou articulado para tratar da segurança de tais empreendimentos de forma integrada. Essa lei ainda classifica as barragens por categoria de risco e dano potencial, facilitando a gestão da segurança.

A PNSB, em um dos seus objetivos, regulamentava as ações de segurança a serem adotadas, levando em consideração todas as etapas do empreendimento, como: planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e usos futuros de barragens em todo o Brasil. Esse instrumento expressa, de forma direta, que a primeira responsabilidade da segurança da barragem é do empreendedor e o mesmo tem o dever de mantê-la em condições adequadas de segurança e elaborar o seu plano de segurança, que deverá ser específico para cada empreendimento. Outras obrigações são a realização de inspeções de segurança regulares e especiais, além da revisão periódica de segurança nos empreendimentos sob sua responsabilidade (ANA, 2010).

Todas as informações sobre a situação da barragem devem ser enviadas para os respectivos órgãos fiscalizadores, para que sejam repassadas à ANA, originando o Relatório de Segurança de Barragens (RSB), que é um instrumento avaliativo da PNSB (ANA, 2010).

O RSB tem o objetivo de apresentar para a população o resultado de uma avaliação da eficácia da PNSB, na evolução da segurança das barragens brasileiras, na redução de incidentes e acidentes e na melhoria da gestão de riscos. relatório deverá ser elaborado todos os anos sob a coordenação da ANA, que o enviará, de forma consolidada, ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) para apreciação. Caso necessário, o conselho fará recomendações para melhoria da segurança das obras e encaminhará o RSB ao Congresso Nacional (ANA, 2014b).

## 2.3 Barragens de terra e suas classificações

Para Caputo (1987), as barragens de terra são estruturas compostas por material granular, construída em vales e destinadas a fechá-los transversalmente, proporcionando o represamento da água. Elas também são conhecidas como barragens de terra-enrocamento, possuindo como dimensões básicas a largura da crista, as dimensões das bermas, a inclinação dos taludes e a cota da crista (OLIVEIRA, 2008).

Caputo (1987) classifica as barragens de terra de acordo com sua seção, em barragens homogêneas e barragens mistas ou zonadas. As barragens homogêneas são constituídas de um único tipo de material, já as barragens zonadas são constituídas de um núcleo de material impermeável, geralmente uma argila fina, e camadas de matérias permeáveis, que juntos promovem a estabilidade do talude.

## 2.4 Principais causas de ruptura das barragens de terra

As rupturas de barragens de terra são comuns em todo o mundo. Na tentativa de desenvolver técnicas para evitar ou amenizar os acidentes causados pela ruptura de barragens de terra, estudiosos avaliaram quais são as causas mais frequentes. Segundo Caputo (1987), as principais causas de rupturas em barragens de terra são o galgamento, as infiltrações e os deslizamentos. O Quadro 1, na página seguinte, apresenta as principais causas de rupturas de barragens nos Estados Unidos.

**Quadro 1** – Principais causas de rupturas de barragens de terra

Extravasamento (galgamento)	30%
Infiltrações	25%
Deslizamentos	15%
Vazamentos de condutos	13%
Falta de proteção dos taludes	5%
Causas diversas e desconhecidas	12%

Fonte: Adaptado de Caputo (1987).

#### 2.4.1 Galgamento

O galgamento é a passagem da água por cima do talude da barragem, e para evitar esta situação, deve-se dimensionar o vertedouro adequadamente, eliminando o excesso de água do reservatório. Observando o Quadro 1, o galgamento é a principal causa de ruptura de barragens de terra. Caso esse fenômeno venha a acontecer, o rompimento é bem provável (OLIVEIRA, 2008). Para garantir com mais segurança que isso não ocorra, a crista da barragem deve situar-se a uma distância predeterminada do nível de água (revanche ou borda livre), e o vertedouro deve permanecer limpo para evitar a obstrução (CAPUTO, 1987).

#### 2.4.2 Infiltrações

A percolação através da estrutura de uma barragem de terra é comum, porém ela deve ser controlada, pois a percolação descontrolada pode carregar material em direção a saídas não protegidas, formando vazios, também conhecida como erosão interna ou *piping*, que poderá conduzir a falha (BRASIL, 1987).

O conhecimento da pressão de percolação excessiva e seus efeitos agressivos sobre a estrutura das barragens de terra são consolidados no campo da mecânica dos solos a décadas. Segundo Caputo (1987), as pressões de percolação podem se tornar excessivas e causar o carreamento de partículas finas do solo no ponto onde a água emergir no corpo da barragem ou no terreno de fundação, se esse for mais permeável que a própria barragem. Desse modo, vai-se formando, dentro da barragem ou na sua fundação, um orifício cada vez maior e em forma de tubo. Esse fenômeno denomina-se erosão tubular ou *piping*

e pode comprometer a estabilidade da barragem, podendo destruí-la completamente.

As infiltrações, através do corpo da barragem ou da sua fundação, comprometem a estabilidade da barragem. Para garantir a segurança do empreendimento, devem-se tomar cuidado com relação às pressões de percolação excessivas (CAPUTO, 1987).

A proteção contra a erosão tubular (*piping*) pode ser feita através da redução da velocidade de infiltração e com a facilitação da saída de água. No corpo da barragem, a utilização de sistemas de drenagem favorece a orientação do percurso da água percolada, aumentando a segurança contra esse tipo de problema (CAPUTO, 1987).

Para a proteção do *piping* através da fundação, utiliza-se tapete impermeabilizante à montante e uma trincheira de vedação ou a construção de poços de alívio. A utilização de sistemas de drenagem no talude, tapete e trincheira de vedação, quando utilizados em conjunto, são eficazes contra a percolação (CAPUTO, 1987). Através do Quadro 1, observa-se que as infiltrações são responsáveis por 25% das rupturas de barragens de terra, reforçando a importância de tomar medidas de controle contra esse fenômeno.

#### 2.4.3 Deslizamentos

Os deslizamentos ou escorregamentos são problemas comuns em barragens de terra, pois o material que compõe o talude naturalmente tende a escorregar devido à força da gravidade, entre outras, que são suportadas pela resistência ao cisalhamento do material (DYMINSKI, 2014).

Na falta de instrumentação para se identificar áreas sujeitas a escorregamentos, durante a inspeção deve-se procurar, principalmente, pelos sinais de escarpas, árvores inclinadas, ausência de cobertura vegetal, ravinas, rachaduras de tensão, desalinhamento de elementos retos e presença de nascentes. Os pequenos deslizamentos também devem ser monitorados e impedidos, visando a diminuição da declividade do talude e a não obstrução do sistema de drenagem, buscando evitar deslizamentos progressivos (OLIVEIRA, 2008).

#### 2.4.4 Proteção dos taludes

Os taludes de uma barragem de terra devem estar estabilizados para evitar problemas na segurança da estrutura e uma possível ruptura da

estrutura. A NBR 11.682 (ABNT, 2009), criada para fixar as condições exigíveis no estudo e no controle de taludes, além de condições de projeto, execução, controle e conservação de obras de contenção de taludes, afirma que um talude estável é aquele que não apresenta nenhum sintoma de instabilidade, tais como trincas, sulcos, erosão, cicatrizes, abatimentos, surgências anormais de água, rastejo, rachaduras em obras locais etc.

Procurando evitar a instabilidade, o talude de montante deve ser protegido contra a ação de vagas e das correntes, que podem dar origem a erosões. Geralmente essa proteção é realizada através de um revestimento com pedras, também conhecido como *rip-rap* ou enrocamento de proteção, que é o mecanismo mais utilizado em taludes de montante, porém pode ser utilizado também em taludes de jusante. Esse tipo de proteção deve possuir alta massa específica, durabilidade e resistência à abrasão (BRASIL, 1981).

O talude de jusante deve ser revestido contra a erosão superficial, pois “a erosão instala-se onde tiver terra desnuda” (PRIMAVESI, 2002, p. 421). Existem diversos fatores que favorecem o surgimento de erosão, mas faz somente 30 anos que se descobriu a sua origem verdadeira: a infiltração deficiente da água no solo (PRIMAVESI, 2002).

A proteção dos taludes de jusante pode ser através do revestimento por vegetação. Em barragens de terra, geralmente é utilizado gramíneas, devido ao custo relativamente inferior, quando comparado ao enrocamento de proteção.

A NBR 11.682 recomenda que a proteção do talude seja feita através do uso de vegetação nativa; caso a vegetação não seja nativa, deve-se utilizar técnicas para adequá-la ao ambiente (ABNT, 2009). A presença de plantas aumenta a eficiência da infiltração da água no solo, ameniza o impacto da chuva na superfície e, conseqüentemente, auxilia na prevenção de erosões. A erosão é o tipo de problema mais comum nesse tipo de estrutura e, caso não sejam controladas, podem causar brechas no coroamento e encurtar o caminho da percolação, prejudicando a segurança da barragem (OLIVEIRA, 2008).

## 2.5 Instrumentação em barragens de terra

A Segurança de barragens necessita de um acompanhamento mais rígido das condições estruturais, principalmente através da instalação de um adequado sistema de instrumentação, obtendo

os dados mecânicos-hidráulicos que, aliados à interpretação adequada, fazem um papel fundamental no seu controle (PUC RIO, 2014).

A interpretação dos dados de instrumentação é capaz de fornecer informações sobre a estrutura, que visualmente tenham passado ou que sejam de impossível detecção visual. Nesse sentido, durante a operação da barragem, quando instrumentada, um especialista deve avaliar os dados periodicamente, a fim de identificar anomalias para realização de reparos.

Os principais dados a serem obtidos através da instrumentação são a poro pressão<sup>1</sup>, nível d’água, vazões de percolação, deslocamentos, deformações, recalques e as tensões da estrutura. A instrumentação isoladamente, às vezes, não é eficaz, porém, em conjunto com a inspeção visual, funciona de forma satisfatória na prevenção de rupturas (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Oliveira (2008, p. 29): “São normalmente instrumentados o maciço compactado, as estruturas de concreto, os maciços rochosos e o reservatório”. Se os dados obtidos dos instrumentos mostrarem a necessidade da realização de ações corretivas, essas devem se basear preferencialmente em planos previstos (SILVEIRA, 2006).

## 2.6 Avaliações da segurança das barragens de terra

A avaliação de segurança visa determinar as condições relativas à segurança das estruturas da barragem e sua operação, identificando problemas, executando ações corretivas, determinando restrições operacionais, modificando as análises e buscando a solução (BRASIL, 1987). Para se identificar quais os problemas mais factíveis nesses empreendimentos, a Eletrobrás determinou que a avaliação da segurança fosse realizada em fases, que consistem em (BRASIL, 1987, p. 17):

Revisar os projetos e seus dados; os métodos de construção e materiais e o histórico operacional, através dos registros disponíveis; fazer a vistoria do comportamento e condições da estrutura existente; executar as análises necessárias; desenvolver conclusões e recomendações finais; elaborar um relatório.

<sup>1</sup> Conhecida também como pressão neutra, é a pressão que o fluido exerce no interior de elementos porosos como os solos e as rochas.

Realizar a vistoria do comportamento e condições da estrutura existente é essencial, pois através dela pode-se identificar a maioria das condições adversas mais comuns em barragens de terra. A inspeção visual e a instrumentação se mostram eficazes para essa realização, pois em conjunto conseguem identificar anomalias, fragilidades, deficiências e até prever falhas (OLIVEIRA, 2008).

A equipe de vistoria deve conhecer todos os elementos que constituem a barragem, seus modos de falhas e suas principais causas. A equipe deve utilizar todas as fontes de informações disponíveis sobre os temas, que pode ser através de relatórios, descrições de falhas, revistas e manuais (BRASIL, 1987). A realização da vistoria muitas vezes é eficaz na identificação de condições adversas que contribuem para a causa de falhas, como pode-se observar no Quadro 2.

**Quadro 2** – Condições adversas que contribuem para a causa de falhas

CATEGORIAS E CAUSA DE FALHAS	
FALHA	CAUSA
Deterioração da fundação	Remoção de matérias sólidas e solúveis
	Retirada de rochas
	Erosão
Instabilidade da fundação	Liquefação
	Deslizamentos
	Afundamento
	Deslocamento de falhas
Vertedouros defeituosos	Obstruções
	Revestimentos fraturados
	Evidência de sobrecarga da capacidade
	Comportas e guinchos defeituosos
Defeitos de barragens de terra	Potencial de liquefação
	Instabilidade do talude
	Vazamento excessivo
	Remoção de matérias sólidas e solúveis
	Erosão do talude
Defeitos das margens do reservatório	Permeabilidade
	Instabilidade
	Fragilidades inerentes das barreiras naturais

Fonte: Adaptado de Brasil (1987).

A superfície de uma barragem de terra oferece informações sobre a condição de seus elementos, como canaletas de drenagem, *rip-rap*, filtro de pé, entre outros; além disso, pode fornecer indicações das condições de comportamento do interior da estrutura, por isso deve-se realizar uma vistoria completa abrangendo todas as superfícies expostas da barragem, buscando identificar principalmente as causas de falhas especificadas no Quadro 2 (BRASIL, 1987).

## 2.7 Principais evidências e alvos a serem observados em vistorias de barragens de terra

A barragem de terra deve ter todos os seus elementos vistoriados detalhadamente, procurando evidências de deslocamentos, rachaduras, sumidouros, nascentes, pontos molhados, erosão superficial, buracos de animais, vegetação, deterioração dos taludes, depressões, aumento de sólidos suspensos na água percolada e obstrução do sistema de drenagem. Quaisquer dessas condições, individualmente ou em conjunto, podem levar à falha da barragem (BRASIL, 1987).

Oliveira (2008, p. 129) afirma que uma vistoria em qualquer barragem deve ter como alvos principais:

A percolação, os vazamentos, as pressões hidráulicas no interior da barragem e fundação, o funcionamento dos sistemas de drenagens, as deformações observadas nas estruturas, a existência de rachaduras, deslocamentos, abatimentos, recalques, esmagamentos, o risco de escorregamento, de tombamento, a ocorrência de movimentações com desalinhamentos e perda de prumos, a capacidade do sistema de extravasão, o controle da vegetação e de tocas de animais, as condições geológicas locais e a instrumentação.

Esses alvos fornecerão dados indicativos da existência de anomalias, condições adversas ou defeitos na estrutura da barragem que podem levá-la à falha. Esses são comuns em barragens de terra e a sua ocorrência só pode ser controlada ou minimizada através do projeto, operação e manutenção realizados de forma adequada, garantindo a segurança da barragem.

### 3 Método da pesquisa

O trabalho foi desenvolvido na barragem Poleiros, popularmente conhecida como açude Poço Doce, a qual é responsável pelo barramento do riacho Peleiro, afluente ao rio Curimataú, localizado no município de Barra de Santa Rosa-PB, que está inserido na bacia hidrográfica Curimataú.

Devido à inexistência de instrumentação adequada na barragem Poleiros, para o levantamento das anomalias existentes, utilizou-se a técnica de inspeção visual, que inclui atividades como caminhar sobre os taludes, o coroamento e demais estruturas, observando detalhadamente, metro a metro, a existência de evidências de uma anomalia provável ou existente, sempre realizando o registro fotográfico no momento da verificação das mesmas. Após o diagnóstico, foram estudadas e realizadas as ações corretivas necessárias para garantir a segurança da barragem de acordo com o PNSB.

O acompanhamento da execução das ações corretivas foi realizado através de vistorias que ocorreram durante o tempo de recuperação da barragem. Após a finalização das correções, foi realizado registro fotográfico para comparação entre o antes e o depois das correções, que duraram aproximadamente 90 dias (agosto a novembro de 2014).

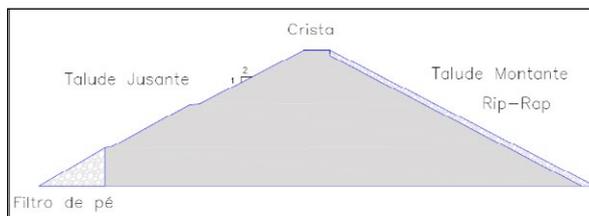
### 4 Resultados da pesquisa

#### 4.1 Caracterização da barragem Poleiros

A barragem Poleiros é caracterizada, de acordo com o método construtivo e composição do seu maciço, como barragem de terra com seção homogênea, composta por um único material compactado. Como toda barragem de terra, ela é composta por um maciço e elementos estruturais auxiliares que juntos possibilitam sua operação por mais tempo, com menos riscos de ruptura. Alguns desses elementos podem ser observados na Figura 1.

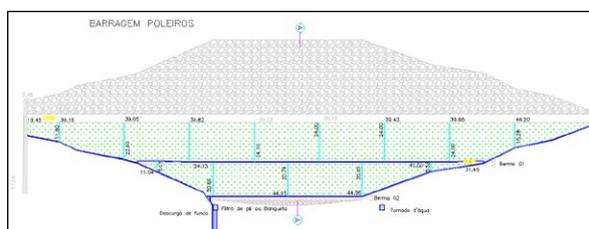
O talude de jusante possui duas bermas e uma declividade de 2:1. Já o talude de montante possui um sistema de proteção contra as ondas e erosão, que nesse caso é o *rip-rap* ou enrocamento de proteção. Outros elementos estruturais, como o sistema de drenagem em cores azuis (canaletes e canaletas), a descarga de fundo e a tomada d'água estão visíveis na Figura 2.

Figura 1 – Seção transversal da barragem Poleiros



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2 – Planta baixa do maciço da barragem Poleiros



Fonte: Elaboração própria.

Através da vista superior ilustrada na Figura 2 e da seção transversal do maciço ilustrada na Figura 1, pode-se visualizar a barragem como um todo, desde seu maciço até os elementos estruturais auxiliares que formam uma estrutura única e interdependente. As dimensões dos principais componentes do barramento estão expressas no Quadro 3.

Quadro 3 – Dimensões da barragem Poleiros

Altura máxima da Crista	25 m
Largura da crista	4,8 m
Comprimento	344,0 m
Largura na base	101,6 m
Comprimento do vertedouro	65 m

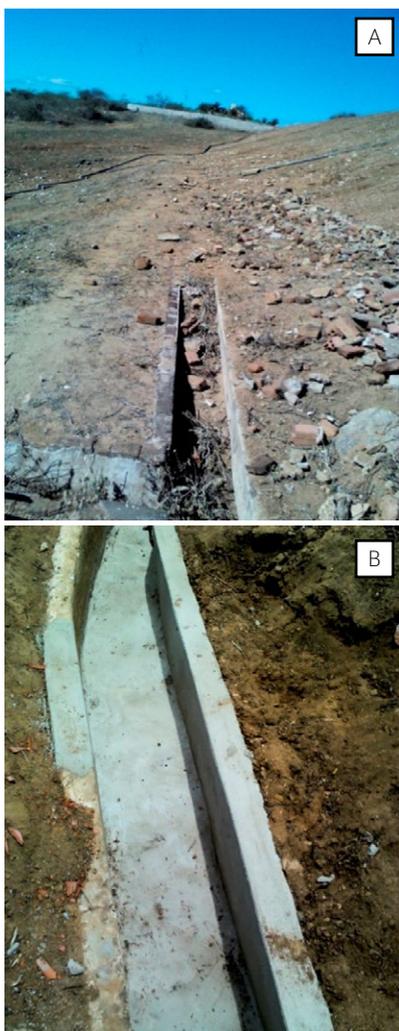
Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2 Identificação de anomalias e ações corretivas

##### 4.2.1 Anomalias nas canaletas de drenagem

As canaletas se apresentavam com mais de 50% da sua totalidade obstruídas por solo e/ou vegetação, conforme apresentado na Figura 3. Oliveira (2008) afirma que esse é um problema comum e ocorre principalmente devido aos deslizamentos de terra.

**Figura 3** – Canaleta obstruída por solo e vegetação (A) e canaleta recuperada (B)



Fonte: Elaboração própria.

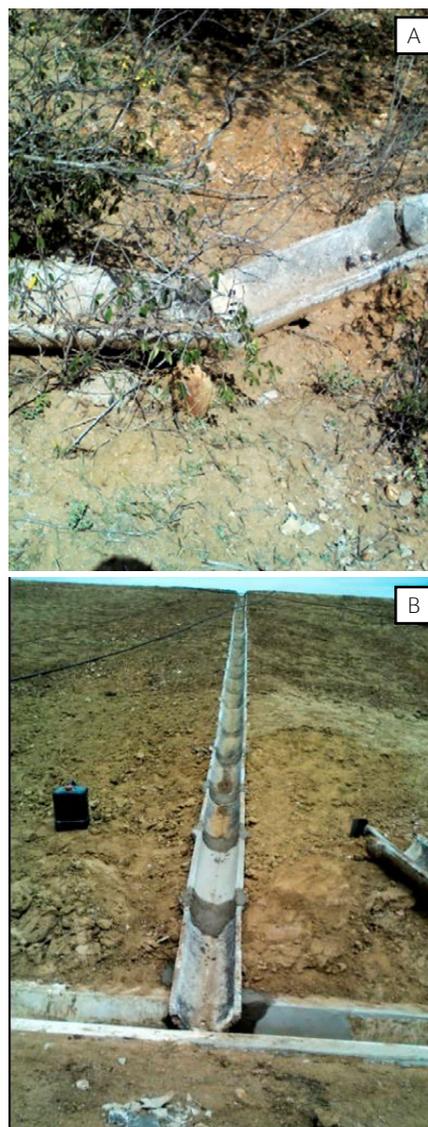
A provável causa dessas obstruções é a ocorrência de pequenos deslizamentos e arraste de solo devido ao talude estar desnudo. Para solucionar esse problema, deve-se retirar todo o material e vegetação que estejam obstruindo o talude e protegê-lo, para prevenir deslizamentos e erosões futuras que retornem o problema. Além das obstruções, encontraram-se trincas e desgastes no fundo das canaletas. A presença de trincas pode indicar um possível tombamento futuro das canaletas. Na barragem Poleiros encontraram-se vários trechos tombados, havendo sido todos recuperados.

O desgaste do piso, as trincas e os tombamentos provavelmente ocorrem devido à ação das forças das raízes das plantas a procura de água, construção ineficaz das canaletas, erosão lateral, deslocamentos

ou deformações no talude. O desgaste natural do concreto associado a esses fatores pode ter acelerado o processo de degradação dessas estruturas. Para solucionar todos os problemas nas canaletas, elas devem ser recuperadas e receberem um reforço estrutural, quando necessário. De acordo com Oliveira (2008), essa recuperação deve ocorrer antes das chuvas e as inspeções no sistema de drenagem é uma das principais ações de monitoramento.

Outros problemas encontrados no sistema de drenagem foram inúmeras canaletas com desgaste natural, trincas, fissuras, recalque e algumas haviam sumido. Esse problema foi resolvido com a substituição das canaletas por novas unidades.

**Figura 4** – Canaletas com recalque e fissuras (A) e canaletas recuperadas (B)



Fonte: Elaboração própria.

A falta de proteção do talude, a vegetação com raízes profundas, erosão lateral, deslizamentos, quando associados à degradação natural do concreto e ao escoamento da água ao longo do tempo, são os fatores prováveis que tenham dado origem a essas anomalias no sistema de drenagem.

Esses elementos estão apoiados sobre o talude de jusante. Portanto, todo movimento de terra, erosão ou outra anomalia que esse venha a sofrer, pode afetar diretamente as canaletas de drenagem, causando um efeito cumulativo. Quando o sistema de drenagem é danificado, proporciona saturação e escoamento superficial de forma mais intensa no talude, facilitando o surgimento de erosões, infiltrações e deslizamentos, que afetam ainda mais o sistema de drenagem, pois existe uma relação de interdependência na eficiência de operação de ambos.

Para solucionar essas anomalias, primeiramente o talude deve ser recuperado por completo, evitando recalques, e as canaletas recolocadas, quando constatadas trincas no selamento da junção entre as mesmas, devendo-se retirar o selo de concreto e refazê-lo. Porém, quando existirem trincas na canaleta ou destruição parcial, a substituição por novas unidades é a solução mais segura.

#### 4.2.2 Anomalias no maciço da barragem

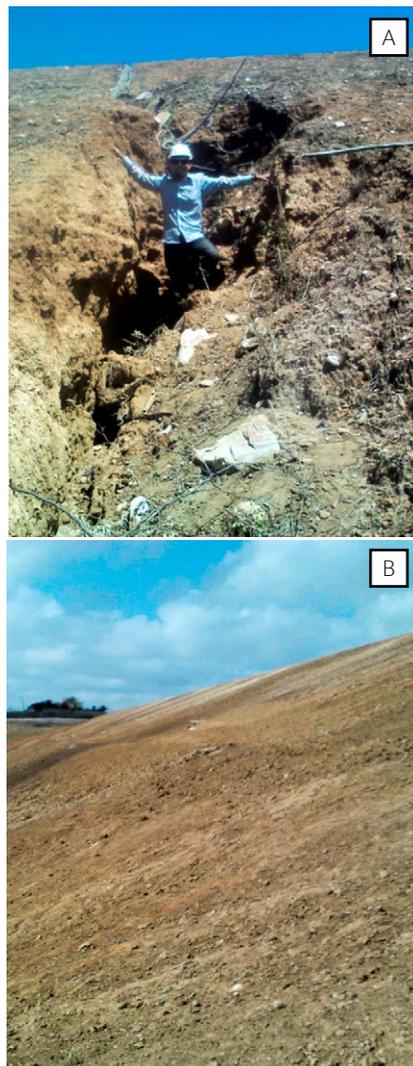
Durante as inspeções identificou-se a presença de vegetação excessiva, como árvores e arbustos sobre os taludes de jusante e montante da barragem. Esse mesmo problema também foi notificado por Oliveira (2008), que alerta sobre a importância de impedir o desenvolvimento desse tipo de vegetação sobre as estruturas da barragem, pois elas impedem a visualização de anomalias, dificulta o acesso às estruturas da barragem, prejudica o sistema de drenagem e gera caminhos preferências para percolação devido às raízes profundas.

A maioria da vegetação alta é composta por algarobas, espécie invasiva com raízes profundas e de longo alcance, fator que aumenta a necessidade de evitá-las na estrutura da barragem. Para resolver essa situação indesejada é necessário realizar o desmatamento, procurando conservar as gramíneas existentes. A ação corretiva foi o desmatamento manual da vegetação do maciço, possibilitando a recuperação dos taludes que se encontravam erodidos e com o *rip-rap* danificado.

As erosões mais desenvolvidas tinham 21,2 m de comprimento, 2,2 m de profundidade máxima e 3,9 m

de largura máxima (Figura 5). Essas foram constatadas na parte inferior do talude de jusante, principalmente onde as canaletas de descida d'água estavam obstruídas totalmente. A obstrução proporcionava o transbordamento, dando origem a um escoamento d'água com velocidades altas e vazões concentradas, aumentando o efeito erosivo. As erosões foram suficientes para causar o recobrimento do filtro de pé ou banqueteta, que poderia dificultar o escoamento da água percolada, favorecendo a saturação do talude e o surgimento do *piping*, prejudicando a estabilidade do talude. Sendo assim, a solução foi a desobstrução do sistema em conjunto com a proteção do talude contra deslizamentos e erosões, para evitar reincidência do problema.

**Figura 5** – Erosão em estágio avançado no talude de jusante (A) e talude recuperado (B)



Fonte: Elaboração própria.

A origem dessas erosões superficiais teve como base a ineficiência do sistema de drenagem e a falta de proteção vegetal no talude de jusante. Oliveira (2008) detectou esse problema de manutenção em taludes de barragens, como um dos mais recorrentes, recomendando a recuperação imediata. Primavesi (2002) confirma que a falta de vegetação adequada torna o talude mais vulnerável a erosões. As ações de correção que foram tomadas para solucionar essas erosões foram a reposição do material erodido por aterro compactado e a implantação de um sistema de proteção, a partir do plantio de gramíneas.

## 5 Conclusão/Considerações

A ação do ambiente aliada à falta de manutenção na barragem Poleiros, ao longo do tempo, originaram anomalias em um determinado elemento, que pode comprometer outros, causando um efeito cumulativo, que aumenta o potencial de falha da estrutura. O risco de falha só poderá ser minimizado com a realização de inspeções regulares na barragem, de acordo com a sua classificação e com a execução de manutenção quando necessário.

As barragens de terra possuem características e funções distintas, que juntas proporcionam a operacionalidade do empreendimento com estabilidade e segurança, de acordo com o previsto em projeto. Porém, necessitam de monitoramento e operação adequados, seguindo as recomendações do PNSB. A política de segurança de barragens estabelece, de forma clara, a distribuição de responsabilidades, tanto do empreendedor como dos órgãos fiscalizadores, visando a aplicação de medidas para garantir a segurança das barragens, para que elas possam cumprir suas finalidades, levando um risco aceitável para a população e para o meio ambiente, e contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

A caracterização aqui apresentada possibilitou a realização de um levantamento de anomalias mais comuns na barragem Poleiros, causas e técnicas de recuperação mais adequadas, quando aliadas ao acompanhamento da execução das ações corretivas, favorecendo uma recuperação eficaz da mesma. Todas as anomalias que poderiam comprometer a estabilidade do empreendimento foram resolvidas. No entanto, para que a estrutura continue operando de forma aceitável, se faz necessário um operador para realizar o monitoramento e a manutenção de pequenos problemas que possam surgir ao longo do tempo.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (Paraíba). **Relação dos açudes monitorados**. João Pessoa: AESA, 2014. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaUltimosVolumesPorBacia>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (Brasil). **Situação dos recursos hídricos no Brasil: qualidade da água e índice de estado trófico na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental**. Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/atlantico-ne-oriental>>. Acesso em: 23 out. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (Brasil). **Cadastro de barragens**. Brasília: ANA, 2014a. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cadastros/Barragens/Visualiza.aspx>>. Acesso em: 30 ago. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (Brasil). **Relatório de segurança de barragens**. Brasília: ANA, 2014b. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cadastros/barragens/RelatoriodeSegurancadeBarragens.aspx>>. Acesso em: 21 out. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682 – Estabilidade de taludes**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- BORTOLOTTI, Marcelo. Tragédia Anunciada. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 13 nov. 2005. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1311200522.htm>>. Acesso em: 13 set. 2014.
- BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Instruções a serem observadas na construção das barragens de terra**. 2. ed. Fortaleza: Embrapa, 1981. 251 p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Avaliação da segurança de barragens existentes**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 1987.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infraestrutura Hídrica, Unidade de gerenciamento do Proágua/Semiárido. **Diretrizes ambientais para projeto e construção de barragens e operação de reservatórios**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002.

CAPUTO, Homero Pinto. 1987. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987. v. 3.

DYMINSKI, Andrea Sell. **Noções de estabilidade de taludes e contenções**. [S.l.: s.n., s.d.]. Notas de aula. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/TC019/TC019/Taludes.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

MENESCAL, Rogério Aguiar. **Gestão da segurança de barragens no Brasil**: proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo. 2009. 769 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

OLIVEIRA, Jader Roosevelt de Carvalho. **Contribuição para a verificação e controle da segurança de pequenas barragens de terra**. 2008. 263 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.

PARAÍBA. Governo do Estado conclui recuperação de barragens em 10 municípios. **Governo da Paraíba**, João Pessoa, 15 out. 2014. Disponível em: <<http://www.paraiba.pb.gov.br/88540/governo-do-estado-conclui-recuperacao-de-barragens-em-10-municipios.html>>. Acesso em: 15 out. 2014.

PONTÍFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO. **Instrumentação e segurança de barragens**. Rio de Janeiro, ago. 2014. Disponível em: <[http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0124945\\_03\\_cap\\_02.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0124945_03_cap_02.pdf)>. Acesso em: 31 ago. 2014.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. 1. ed. São Paulo: Nobel, 2002.

SILVEIRA, João Francisco Alves. **Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.