

ESTADO DA ARTE NA INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO DE BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA

LETÍCIA DE SOUSA RODRIGUES¹, ANDRÉ LUCAS COURA DE SOUZA², JULIANO RODRIGUES SILVA³, LUIZ SOARES COREIA⁴;

¹Engenharia Civil, UNIP, Brasília-DF, leticia.s25@gmail.com;

²Engenharia Civil, UNIP, Brasília-DF, andrelucascoura@gmail.com;

³Prof. Dr. Juliano Rodrigues Silva, Brasília-DF, julianorodriguessilva@gmail.com;

⁴Prof. Me. Luiz Soares Correia, Brasília-DF, luiz.correia11@docente.suafaculdade.com.br;

Apresentado no
ENCONTRO DISTRITAL DO CREA-JR/DF E SENGE JOVEM/DF
Novembro de 2022.

RESUMO: O histórico de rompimentos de barragens nos últimos anos mostra que é evidente a importância de procedimentos adequados de gestão de risco. Para ser realizada de forma cada vez mais efetiva e contínua, essa gestão acompanha a evolução de procedimentos cuidadosos para avaliações de segurança de barragens. O principal mecanismo para monitorar o desempenho da barragem é a instrumentação da estrutura. Neste contexto, este trabalho envolve diferentes tipos de estudos de instrumentação de barragens, instalados em barragens de concreto. Inicialmente, foram introduzidos os aspectos gerais das barragens, a história das barragens no Brasil e as leis de segurança nas instalações das barragens. Conclui-se que o uso de instrumentos, como piezômetros e extensômetros, proporcionam medições precisas e são de grande importância para o monitoramento de manifestações patológicas em barragens.

PALAVRAS-CHAVE: Estado da arte, Barragens, instrumentação, auscultação.

STATE OF THE ART IN THE INSTRUMENTATION AND MONITORING OF WATER ACCUMULATION DAMS

ABSTRACT: The history of dam failures in recent years shows that the importance of adequate risk management procedures is evident. In order to be carried out in an increasingly effective and continuous way, this management follows the evolution of careful procedures for dam safety assessments. The main mechanism for monitoring the performance of the dam is the instrumentation of the structure. In this context, this work involves different types of dam instrumentation studies, installation in concrete dams. Initially, general aspects of dams, the history of dams in Brazil and dam safety laws were introduced. It is concluded that the use of instruments, such as piezometers and strain gauges, provide accurate measurements and are of great importance for monitoring pathological manifestations in dams.

KEYWORDS: State of the art, dam, instrumentation, auscultation.

INTRODUÇÃO

As barragens podem ser definidas como um elemento estrutural construído transversalmente à direção de escoamento de um curso d'água, destinado à criação de um reservatório artificial de acumulação de água (CHIOSSI, 2013 p. 245). Barragens são obras de vida longa, que precisam de monitoramento e conservação, logo, para iniciar o estudo de uma barragem, deve-se conhecer seus aspectos de construção, como a sua classificação, o seu objetivo, o seu projeto hidráulico e os tipos de materiais utilizados. A instrumentação para monitoramento depende da dimensão da barragem, das características do local onde está construída e dos aspectos construtivos e operativos e, a partir destes parâmetros, elabora-se a definição de seu arranjo. O objetivo da instrumentação é monitorar e analisar

Realização:



Apoio:



ENDICS 2022

ENCONTRO DISTRITAL DO CREA-JR/DF E SENGE JOVEM/DF

Engenharia do Futuro

o comportamento das barragens utilizando-se de equipamentos medidores de pressão da água, deslocamentos, tensões e deformações, temperatura, níveis piezométricos em fundações e vazões.

No Brasil, as barragens mais antigas ainda em operação datam de meados do século XIX. Nota-se, por tanto, que as barragens brasileiras já contam com um acentuado tempo de vida útil e necessitam de cuidados cada vez mais criteriosos. Após os casos de rompimento da barragem de Brumadinho (2019), que foi o maior acidente de trabalho no Brasil em perdas de vidas humanas e da barragem de rejeitos de Mariana (2015), denominada “Fundão” que causou o maior impacto ambiental da história brasileira, os órgãos públicos de fiscalização como a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Ministério Público da União (MPU) que têm voltado sua atenção para a segurança de barragens coordenando, junto aos empreendedores, a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens (RSB) e implementação do Plano Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) estabelecidos pela Lei nº 12.334/2010.

MATERIAL E MÉTODOS

Segundo o manual de Segurança e Inspeção de Barragens, uma barragem pode ser definida como: estrutura construída transversalmente a um rio ou talvegue com a finalidade de obter a elevação do seu nível d’água e (ou) de criar um reservatório de acumulação de água seja de regulação das vazões do rio, seja de outro fluido (BRASIL, 2002).

Barragens são estruturas geralmente associadas ao alto risco, pois podem eventualmente romper, com danos à estrutura da própria barragem, ao meio ambiente, à flora e à fauna, e principalmente com consequências catastróficas por perdas a vida humana.

A classificação de uma barragem pode ser feita de acordo com seu método construtivo ou pelo seu material de construção. Os métodos construtivos são: barragem à montante, barragem à jusante e linha de centro.

As barragens à montante tem como características os alteamentos construídos em direção à montante e a dificuldade de drenagem. É também o método menos seguro, por tem maior risco de ruptura por erosão (Libânio e Lopes, 2020). Já nas barragens à jusante, os alteamentos são construídos em direção à jusante; os degraus, além de ampliarem a altura da barragem, também aumentam a estrutura de sua base. É um método de custo elevado em virtude da quantidade de material utilizado, assim como da área ocupada pela barragem; porém, conta com menor probabilidade de ruptura interna (Libânio e Lopes, 2020).

No caso da classificação por materiais de construção, um material comumente utilizado no Brasil, é o concreto, que consiste na utilização do concreto para construção das estruturas principais da barragem, como vertedouro, crista e paramentos de jusante e montante (ARMELIN E FERREIRA, 2013).

- **Barragens de concreto**

Com o advento do concreto, este tornou-se um dos materiais de construção de barragens devido à sua durabilidade, baixo custo de produção, fácil disponibilidade e adaptabilidade às formas. Barragens de concreto são construídas basicamente com materiais granulados naturais como a areia, ou produzido artificialmente, como a brita, ao qual se adicionam ligantes (cimento, pozolana, etc.) e aditivos químicos como o retardador de pega (POSSEAN, 2020).

A opção mais econômica e mais resistentes entre as demais são de concreto tipo gravidade. Pode adaptar-se a todos os locais, porém, devido a resistência das fundações, tem sua altura limitada. Se a fundação for de rocha sã e com profundidade considerável, é mais econômico a construção de uma barragem de terra, pois, comparadas às barragens de terra ou de enrocamento, as de concreto tipo gravidade têm o custo mais elevado (CHIOSSI, 2013).

A barragem de concreto tipo gravidade funciona em função de seu peso próprio.

- **Manifestações patológicas em barragens de concreto**

Realização:



Apoio:



ENDICS 2022

ENCONTRO DISTRITAL DO CREA-JR/DF E SENGE JOVEM/DF

Engenharia do Futuro

As causas de anomalias em barragens de concreto podem ser: deterioração (por bactérias, intempéries e etc.), galgamento, percolação, falha de fundação, reação álcali-agregado, etringita tardia e falha construtiva (infiltração).

Segundo Cardia (2020) é comum classificar os fenômenos de deterioração que provocam as deficiências do concreto em três grandes tipos: Deterioração físico-mecânica, deterioração físico-química e, corrosão da armadura.

As fissuras ou trincas são identificadas como anomalias físicas que aparecem quando as tensões de tração estabelecidas na estrutura, superam a resistência à tração do concreto e provocam sua ruptura.

Nas barragens de concreto, surgem fissuras de diversos tipos. As variações diárias da temperatura originam a chamada fissuração superficial, que não é relevante para as condições de segurança das estruturas. Porém, podem ser desenvolvidas fissuras associadas a deficiências do projeto, ou de construção, ou mesmo do envelhecimento das estruturas que, afetam essencialmente as condições de funcionamento.

Fissurações devido às reações álcali-agregado: são processos expansivos associados a algumas reações químicas, entre os elementos que constituem o concreto que dão origem deformações e fissuras no concreto que alteram as condições de funcionalidade e de segurança da barragem. Esses processos são em agravados pela presença da água que é facilitada pela abertura das fissuras.

Segundo o sexagésimo congresso anual de concreto, os tipos de fissuras mais comuns provenientes da RAA são:

- Fissuras tipo “mapa” que ocorrem superficialmente, causadas pela expansão diferencial entre a parte externa, mais seca, e a parte interna da estrutura, com maior teor de água;
- Fissuras longitudinais na crista da barragem, decorrente das altas compressões longitudinais, e conseqüente tração na direção montante-jusante;
- Fissura longitudinal que podem ocorrer em alguns trechos ao longo da galeria;
- Fissuras decorrentes da expansão diferencial entre o aço e o concreto.

A reação pode ser notada através de deslocamentos diferenciais, fechamento de juntas na crista da barragem, emperramento ou deslocamento de peças mecânicas (Cardia, 2020).

Lixiviação ou corrosão: Segundo Ferreira, 2016, quando as águas provenientes da condensação de neblina, vapor ou da chuva, conhecidas como águas puras, entram em contato com o cimento, a tendência é que ocorra a dissolução dos produtos contendo cálcio ou a hidrólise dessas águas. Como o hidróxido de cálcio, presente no concreto, apresenta grande solubilidade em águas puras, é muito sensível a eletrólise, fazendo com que ocorra a lixiviação.

Segundo Cardia (2020) os principais agentes de lixiviação são: substâncias ácidas (ácido sulfuroso, chuvas ácidas, águas de condensação de processos industriais); Substâncias alcalinas (soda cáustica); Águas puras ou pouco salinas (água da chuva, águas subterrâneas de grandes profundidades e etc.); Fungos e bactérias.

Expansão: É um dos tipos de deterioração química. “ A deterioração química por expansão é consequência da formação de novos compostos estáveis na massa endurecida do concreto, acompanhada de aumento de volume” (CARDIA, 2020).

As principais causas dessas patologias, segundo Pinheiro (2019) são reações álcalis-agregado e sulfatos. Nas reações álcalis-agregado os álcalis agregados do concreto (sódio, potássio) presentes na pasta de cimento podem reagir com a sílica dos agregados causando o aumento do volume.

Corrosão da armadura: Os agentes causadores de problemas patológicos podem ser variados. No caso da corrosão de armadura podem ser destacados: o CO₂, os sais, principalmente o cloreto e a incompatibilidade de metais. Para HELENE (1986), “corrosão é uma interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica”.

Segundo Cardia, (2020), a deterioração do concreto por corrosão da armadura pode se dar pela redução da seção da barra de aço e, com essa diminuição da área de aço, comprometer a

Realização:



Apoio:



ENDICS 2022

ENCONTRO DISTRITAL DO CREA-JR/DF E SENGE JOVEM/DF

Engenharia do Futuro

segurança da barragem, e também pela fissuração do revestimento de concreto, o que favorece a formação de agentes corrosivos.

Abrasão e cavitação: As partículas sólidas da composição do concreto, transportadas pela água são as maiores responsáveis pela ocorrência da abrasão em barragens de concreto. As estruturas onde a água movimentada-se com maior velocidade são as mais afetadas por este tipo de deterioração, como a bacia de dissipação, por exemplo.

Segundo Filho (2021), a erosão por abrasão pode ser caracterizada como a remoção do concreto da superfície da estrutura, podendo ocasionar um aspecto de superfície jateada e que contribui com o aumento das demais patologias, pois torna o concreto mais poroso.

Já a cavitação, consiste no processo de formação de microbolhas geradas pela baixa pressão em locais em que a água tem uma velocidade de escoamento excessiva. (Kormann, 2002).

Infiltração: As infiltrações, chamadas vazamentos ou surgências consistem no fluxo de água através das aberturas nas estruturas da barragem, como juntas ou fissuras. Segundo Pinheiro (2019) as principais causas das infiltrações são “fissuras, vedações deficientes ou rompimentos, concreto deteriorado, juntas de construções mal tratadas ou tubulações mal vedadas”.

Desalinhamentos e deslocamentos diferenciais: Segundo Pinheiro (2019), esta patologia está associada com a movimentação da estrutura, podendo ser um desalinhamento, ou deslocamento diferencial, suas principais causas são: recalque da fundação, subpressão não prevista na estrutura, reações químicas no concreto com expansão do material ou efeitos térmicos.

Os problemas causados pelos recalques são relacionados ao aparecimento de trincas onde esses recalques são acentuados, em ombreiras rochosas íngremes e irregulares, galerias enterradas e zonas de transição (SILVEIRA, 1982).

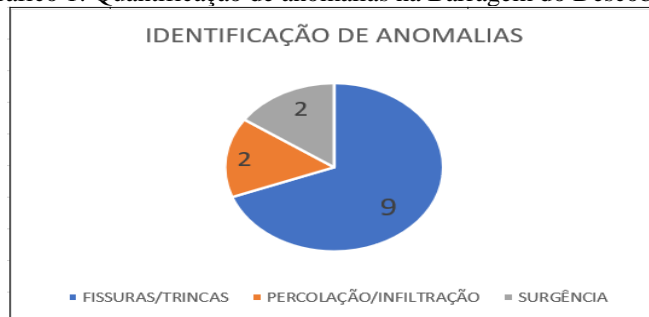
Para garantir a observância de padrões de segurança, reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências e ampliar o controle do poder público sobre as barragens, foi criado o PNSB, Política Nacional de Segurança de Barragens, estabelecida pela Lei Federal nº 12.334/2010, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de barragens e gestão de riscos, entre outros.

Imagem 1: Listagem de anomalias identificadas na Barragem do Descoberto

Identificação das anomalias monitoradas	Localização
Fissuras/trincas	Laje da tomada d'água; Parede da galeria de inspeção blocos D e I; Parâmetro jusante bloco Q.
Percolação/Infiltração	Parâmetros Jusante blocos C, E, F e G.
Surgência	Margens direita blocos Q e O.

Fonte: Autor

Gráfico 1: Quantificação de anomalias na Barragem do Descoberto



Fonte: Autor

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo o Termo de Referência, elaborado pela equipe de segurança de barragens da CAESB, Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, a

Realização:



Apoio:



ENDICS 2022

ENCONTRO DISTRITAL DO CREA-JR/DF E SENGE JOVEM/DF

Engenharia do Futuro

barragem do Descoberto passou por quatro intervenções desde a sua conclusão em 1973, apesar disso nunca foi instrumentada. Devido ao histórico de poucas intervenções, da evolução de anomalias existentes (citadas anteriormente) e aparecimento de novas anomalias, é imprescindível o monitoramento da barragem do Descoberto. Os instrumentos serão instalados com intuito de monitorar as anomalias já existentes e, se possível, evitar o aparecimento de novas. A instrumentação prevista para a Barragem do Descoberto pode ser vista na tabela abaixo:

Quadro 1- Instrumentos Previstos

Instrumento	Quantidade (unidades)
Extensômetro de Haste	12
Piezômetro de tudo aberto	22
Medidores de vazão do tipo vertedor triangular	06
Medidores triortogonais	17
Terminais de PVC para os drenos de fundação	206

Fonte: Termo de Referência- Execução das obras/serviços de instrumentação da Barragem do Descoberto. CAESB, 2020.

- Extensômetros de Haste: Estes aparelhos serão utilizados para realizar monitoramento dos recalques na fundação (centésimo de mm) e deslocamentos horizontais e verticais da crista em relação a fundação e ao interior do maciço da barragem (centésimo de mm). Medidores de Vazão tipo Vertedor Triangular: Serão instalados na canaleta de montante da galeria de drenagem e terão como finalidade monitorar as vazões de infiltração dos drenos de paramento.
- Piezômetro: Estes aparelhos serão instalados com a finalidade de monitorar as subpressões na fundação e no maciço de concreto (MPa ou kgf/cm²);
- Medidores Triortogonais: Instalados nas juntas entre os blocos, fornecerão os dados referentes aos deslocamentos relativos dos mesmos, em três direções: margem direita - margem esquerda, montante - jusante e fundação – crista. As grandezas de deslocamentos a serem medidas são em centésimos de mm.



Imagem 1 – Piezômetro de PVC. Isbgeo, Sd.



Imagem 2 – Extensômetro barragem Descoberto. Commetro, 2022.



Imagem 3 – Medidor Triortogonal barragem Descoberto. Commetro, 2022.

CONCLUSÃO

Através dos instrumentos instalados, o empreendedor de uma barragem pode obter maior controle de dados existentes na barragem, pois, a instrumentação torna as medições precisas, excluindo o erro humano das medições manuais.

Pode-se perceber que nos medidores triortogonais, a grandeza de deslocamento será feita em centésimos de milímetro, algo completamente imperceptível a olho nu. Portanto, o uso de instrumentos, visa prever falhas na estrutura da barragem de maneira mais breve possível e assim, possibilitar a tomada de atitudes pelos órgãos responsáveis para evitar uma futura ruptura, ou, em caso de ruptura, preservar de maneira abrangente, o meio ambiente e as vidas que possam ser afetadas por um possível desastre.

Realização:



Apoio:



ENDICS 2022

ENCONTRO DISTRITAL DO CREA-JR/DF E SENGE JOVEM/DF

Engenharia do Futuro

REFERÊNCIAS

- ARMELIN, J. L; FERREIRA, R. **Classificação das Barragens**, 2013. Disponível em:<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/puc_barragens_02_classificacao_2013-2.pdf> Acesso em 17 de abr. de 2022.
- BRASIL. Ministério do Interior - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Instruções gerais a serem observadas na construção das barragens de terra**. 2. ed., revista e ampliada. Fortaleza, 1981.
- CARDIA, R. J. R. Curso de segurança de barragens. Módulo II: **Inspeção e Auscultação de Barragens**. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2179/11/Unidade_1-modulo2.pdf. Brasília, 2020.
- CHIOSSI, N. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.
- FILHO, J. B. L. **Estudo de caso: Diagnóstico e ações de recuperação estrutural da Barragem de Jucazinho/PE**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v.6, n. 3, p. 46-53, 2021.
- HELENE, PAULO R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Editora Pini – Instituto de pesquisas Tecnológicas IPT, 1986.
- KORMANN, A. C. M. **Estudo do Desempenho de Quatro Tipos de Materiais para Reparo a Serem Utilizados em Superfícies Erodidas de Concreto de Barragens**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) –Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- LIBANO, R.; LOPES, J. V. **Tudo o que você sempre quis saber sobre barragens**, 2020. Ius Natura. Disponível em: <<https://iusnatura.com.br/barragens/>>. Acesso em 16 de abr. de 2022.
- PINHEIRO, I. **Barragens na Engenharia**. Inova Civil, 2019. Disponível em: <<https://www.inovacivil.com.br/barragens/>>. Acesso em: 17 de abr. de 2022.
- POSSEAN, E. **Barragens de concreto**, 2015. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/326468134_BARRAGENS_DE_CONCRETO_EDNA_Posean_2015>. Acesso em 17 de abr. de 2022.
- SILVEIRA, J. F. A. **Deformações e deslizamentos em maciços de barragens**. Disponível em:<<https://www.portaldageotecnia.com.br/site2021/wpcontent/uploads/2021/08/Deformacoes-e-Deslocamentos-em-Macicos-de-Barragem-Relato-do-TemaIV.1.pdf>>. Acesso em: 24 de abr. de 2021.

Realização:



Apoio:

