



## 265- CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE BARRAGENS

### **Rosemeire Alves Laganaro<sup>(1)</sup>**

Química pela Universidade Presbiteriana Mackenzie com mestrado em Saneamento pela Poli USP e MBA em gestão de projetos pela FGV. Atua no Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos da SABESP.

### **Michele Bispo de Jesus<sup>(2)</sup>**

Engenheira sanitaria e ambiental pela UFBA, com especialização em Gestão e Tecnologias Ambientais pelo Programa de Educação Continuada da Poli USP (PECE-POLI) e mestranda em Recursos Hídricos do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Poli USP (PGEC-USP). Atua no Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos da SABESP.

### **Carla Aparecida Souza di Liberato<sup>(3)</sup>**

Engenharia Civil pela FESP – SP, Tecnóloga em Obras Hidraulicas e em Movimento de Terra e Pavimentação pela FATEC-SP, e cursando Especialização em Segurança de Barragens pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT. Atua na Divisão de Recursos Hídricos Metropolitanos Leste da SABESP.

### **Adilson Macedo<sup>(4)</sup>**

Biólogo pela Universidade de Mogi das Cruzes – UMC com especialização em Tecnologias Ambientais pela FATEC-SP. Atua no Laboratório de Limnologia da Divisão de Recursos Hídricos Metropolitanos Leste da SABESP.

### **Alexandre dos Santos Bueno<sup>(5)</sup>**

Administrador, com ênfase em Análise de Sistemas, Especialista em Gestão Pública pelo INPG e Mestre em Aquicultura e Pesca com foco em Recursos Hídricos pelo Instituto de Pesca do Estado de São Paulo - APTA. Atua como Gerente da Divisão de Recursos Hídricos Metropolitanos Sudoeste da SABESP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Sumidouro, 448 - Pinheiros - São Paulo - SP - CEP: 05428-010 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-9143 - e-mail: [ralves2@sabesp.com.br](mailto:ralves2@sabesp.com.br)

### **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo apresentar as definições de barragens, seu papel no represamento de água utilizada para abastecimento público, bem como mostrar a importância do controle da qualidade da água a montante da barragem, e de seu percolado, como ferramenta preditiva, junto aos procedimentos de segurança de barragens, citando e explicando os principais parâmetros deste tipo de controle.

**PALAVRAS-CHAVE:** Barragens, Qualidade da Água, Percolado.

### **INTRODUÇÃO**

As barragens são as estruturas físicas que represam um curso de água. Já os reservatórios são o acúmulo de água resultante da construção dessas barragens pelo ser humano.

A lei nº 12.334/2010 distribui a competência pela segurança das barragens conforme o seu uso, sem prejuízo das ações fiscalizatórias dos órgãos ambientais:

Tabela 1: Entidade Fiscalizadora de acordo com o uso (ANA, 2019).

USO	INSTITUIÇÃO FISCALIZADORA
Acumulação de Água	A mesma que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos
Hidroeletricidade	A mesma que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico
Disposição final ou temporária de rejeitos minerais	A mesma que outorgou os direitos minerários
Disposição de resíduos industriais	A mesma que forneceu a licença ambiental de instalação e operação

A Agência Nacional de Águas (ANA) define as regras de operação dos reservatórios do país e monitora, por meio do acompanhamento do nível da água, das vazões diárias de afluentes (o volume de água que entra por dia no reservatório) e defluente (o volume de água que sai).

Mensalmente, são preparados boletins de monitoramento dos principais reservatórios do Brasil, os quais podem

ser acessados na Sala de Situação do site. Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) é outra ferramenta usada pela ANA, que permite acompanhar dados sobre a operação de alguns dos principais reservatórios do país, como os do Nordeste brasileiro. De acordo com a Política Nacional de Segurança de Barragens, cabe à ANA organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) e fiscalizar a segurança das barragens por ela outorgadas, ou seja, aquelas que são destinadas a vários usos que acumulam água, e estão localizadas em corpos hídricos de gestão federal que são aqueles que atravessam mais de um estado ou fazem fronteira.

As represas são construídas para armazenar água e garantir o abastecimento de milhões de pessoas, seja de água ou energia elétrica, mas cumprem, também, um papel fundamental no controle das cheias, pois no período de fortes chuvas, retém boa parte da vazão que chega ao rio, liberando esses volumes de água aos poucos, de forma controlada, evitando ou reduzindo o impacto das inundações. O controle do nível da água é feito por meio dos vertedouros que funcionam como o “ladrão” das caixas d’água, deixando escapar o excesso. Essas estruturas permitem o escoamento quando o nível da represa atinge seu limite máximo, impedindo que a água passe por cima da barragem. Os vertedouros podem ter comportas ou podem ser do tipo livre, sem comportas, como por exemplo, a Tulipa. Vale lembrar que as represas não criam água, elas apenas armazenam o excesso de águas no período de chuvas para posterior uso no período das estiagens. Logo adiante conheceremos a importância de controlar a qualidade da água destas barragens, como ferramenta preditiva de segurança, além dos dispositivos de controle e operação já existentes para liberar água em excesso. Lembrando que as barragens são seguras desde que sejam planejadas, construídas, mantidas e utilizadas.

As represas sob responsabilidade da Cia de Saneamento Básico do Estado de São – SABESP, são:

- a. Sistema Cantareira
  - ✓ Jaguari/Jacareí – Vargem
  - ✓ Cachoeira – Piracaia
  - ✓ Atibainha – Nazaré Paulista
  - ✓ Paiva Castro – Mairiporã/Franco da Rocha
  - ✓ Águas Claras – Mairiporã/Caieiras
- b. Sistema Tietê
  - ✓ Taiaçupeba – Suzano
  - ✓ Jundiaí – Mogi das Cruzes
  - ✓ Biritiba – Biritiba Mirim
  - ✓ Paraitinga – Salesópolis
  - ✓ Ponte Nova – Salesópolis
- c. Sistema Rio Claro
  - ✓ Ribeirão do Campo – Salesópolis
- d. Sistema Cotia
  - ✓ Pedro Beicht – Cotia
- e. Sistema Rio Grande
  - ✓ Represa Rio Grande – São Bernardo do Campo

Desde 2017, a SABESP disponibiliza para o público em geral, o aplicativo SABESP Mananciais RMSP, onde é possível realizar consultas e pesquisas sobre as características, volumes armazenados e chuvas dos principais Sistemas. Também são apresentadas informações de cada barragem tais como: principal curso de água/rio formador, a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) em que está localizada, área de drenagem, volume total operacional e volume útil em metros cúbicos (m<sup>3</sup>). Este aplicativo pode ser baixado tanto na plataforma IOS, quanto na Android. Existe, também, o site Mananciais, onde constam as mesmas

informações do aplicativo, e o site da SABESP, onde constam os principais Boletins emitidos pelo Centro de Controle dos Mananciais (CCM).

## OBJETIVO DESTES TRABALHOS

Este trabalho é conceitual, tendo por objetivo apresentar as definições de barragens, seu papel no represamento de água utilizada para abastecimento público, bem como mostrar a importância do controle da qualidade da água a montante da barragem, e de seu percolado, como ferramenta preditiva, junto aos procedimentos de segurança de barragens, citando e explicando os principais parâmetros deste tipo de controle.

## LEGISLAÇÃO, NORMAS E PADRÕES APLICÁVEIS

A Tabela 2 apresenta os principais instrumentos legais aplicáveis a um programa de monitoramento de água bruta e sedimentos:

Tabela 2: Legislação aplicável a um programa de monitoramento de água bruta e sedimentos

<b>Dispositivo Legal</b>	<b>Descrição</b>
Resolução CONAMA 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências.
Decreto nº 10.755, de 22/11/1977	Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 08/09/1976, e dá providências correlatas para o Estado de São Paulo.
Resolução CONAMA 454/2012	Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional e revoga as Resoluções nº 344 e nº 421 de 2010.

Apesar de a Resolução CONAMA 454/2012 ser aplicável para o propósito de avaliação de sedimentos a serem dragados de corpos d'água, esta resolução é utilizada como referência para avaliar a qualidade de sedimento, já que não existe, no Brasil, uma outra específica para padrões de qualidade de sedimento no ambiente.

Os procedimentos técnicos de amostragem, preservação e ensaio das amostras devem seguir as seguintes normas e diretrizes:

- a) Agência Nacional de Águas (ANA) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), 2012 – Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidas;
- b) APHA, 2017 – Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water (SMEWW), 23ª Edição.

Os laboratórios devem ter equipe técnica qualificada, com profissionais com formação técnica em química ou área relacionada para a amostragem de água e sedimentos. Atenção deve ser dada aos Limites de Quantificação (LQs) dos ensaios requisitados, em relação as legislações utilizadas (LQ < VMP).

## OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DAS BARRAGENS

A operação da barragem, sua manutenção e inspeção devem ser executadas de modo a garantir um nível aceitável de suas condições de segurança. O foco deste trabalho está no monitoramento de desempenho das barragens, para que se forneçam sinais antecipados de qualquer anomalia. Este monitoramento dependerá dos diferentes tipos de estruturas das barragens, sendo as mais comuns, de concreto, metálicas e de terra. Objetivando o controle da qualidade da água e percolados destas barragens, seguem as considerações para os tipos de concreto e de terra:

- ✓ Estruturas de concreto: Subpressão e percolação de água são as principais causas de instabilidade em potencial, sob condições normais de carregamento, de parte ou da totalidade das estruturas. Reações álcali-agregado podem ocasionar sérios impactos na segurança das estruturas. Programas anuais e de

longo prazo de manutenção para as estruturas de concreto devem incluir, mas não se limitar, à limpeza regular de drenos ou sistemas de drenagem, manutenção dos sistemas impermeabilizantes, equipamentos de bombeamento e instrumentação de monitoramento, necessários para garantir a segurança das estruturas;

- ✓ Barragens de terra: Estruturas em aterro necessitam de trabalhos de manutenção essencialmente direcionados ao controle da percolação e erosão a fim de prevenir-se a deterioração do maciço e/ou fundação, e o desenvolvimento de caminhos preferenciais de percolação. Programas de manutenção periódicos para estruturas em aterro devem incluir a manutenção regular da instrumentação, da crista e do enrocamento; o controle desde a vegetação até as tocas de animais; estabilização de taludes; manutenção dos sistemas de drenagem e a remoção de entulhos a montante, a fim de garantir-se a segurança da estrutura.

## CONTROLES DAS BARRAGENS

### ➤ Controle da salinização

Caso o monitoramento da qualidade da água indique a presença de algas e sais, devem ser estabelecidas, dentre outras providências, regras operacionais que permitam a renovação das águas visando à proteção das estruturas associadas à barragem.

O controle de salinização se aplica às barragens localizadas no semi-árido. Deve-se identificar e quantificar a ocorrência de solos propícios, particularmente, o Planossolo Solódico, Solonetz Solodizado e os solos Halomórficos. Caso o monitoramento da qualidade da água afluyente e da água acumulada indique uma tendência à salinização, deve-se definir regras operacionais que permitam a renovação das águas do reservatório e a diluição dos sais, em conformidade com as demais medidas de segurança e com os usos da água previstos. O volume do reservatório deve ser suficientemente pequeno em relação às aflúências sazonais para que essas medidas possam ser implementadas com sucesso. Por outro lado, dependendo da qualidade requerida/desejada e dos riscos de não se conseguir repor totalmente o volume despejado, devem ser definidas formas de operação da válvula dispersora: ou deixá-la aberta totalmente apenas quando houver vertimento ou baixar o nível do reservatório sempre que houver previsão de aflúência em volumes suficientes. Tais regras devem ser discutidas em conjunto com os comitês de usuários do reservatório. Medidas de controle e manejo do uso do solo também devem ser desencadeadas, caso o risco de salinização seja identificado.

### ➤ Controle da eutrofização

Devem ser estabelecidas linhas de ações como o monitoramento da qualidade da água, manutenção e controle da faixa de proteção do reservatório e trabalhos de engenharia ambiental visando à proteção das estruturas associadas à barragem.

Para o controle da eutrofização, deve-se prever a adoção de três linhas diferenciadas:

- Monitoramento da qualidade das águas e a adoção de regras operacionais que permitam a renovação frequente das águas do reservatório, tal qual exposto no item anterior;
- Programa de manutenção e controle da faixa de proteção do reservatório, o qual deve se preocupar especificamente com o uso do solo nas suas margens;
- Ações referentes ao uso e ocupação do solo na bacia de drenagem, que devem compreender : o levantamento sanitário da bacia; o mapeamento dos tipos de solo da bacia que permita identificar a existência de solos com aptidão para expansão da agropecuária; a análise das informações levantadas quanto ao seu potencial de degradação das águas do reservatório por poluição ou eutrofização; a definição do conjunto de ações necessárias para garantir que as alterações nas águas do reservatório sejam mínimas em função dos usos previstos; e a gestão junto aos órgãos competentes e sociedade civil para tomada de decisões e encaminhamento de soluções.

Como diretriz geral, as inspeções regulares devem ser realizadas de acordo com cada situação, classificando-se em rotineiras ou informais (semanal ou mensal), formais (semestral ou anual), onde encaixa-se os ensaios da

água e percolados, os quais fazem parte de um relatório mais complexo e detalhado, e por fim, as inspeções especiais (de cinco a dez anos).

## **QUALIDADE DA ÁGUA**

A qualidade da água do reservatório deve ser monitorada e medidas de proteção devem ser tomadas se a sua qualidade puder causar a deterioração da barragem ou de suas estruturas associadas.

A severidade do ataque químico sobre os materiais da barragem, tais como concreto e aço, pode variar consideravelmente. Nos casos mais severos, o corpo principal do concreto da barragem pode ser atacado por agentes de lixiviação, os quais ocasionaram a formação de caminhos de percolação, fluxos inaceitáveis de drenagem e de pressões neutras, originando uma causa de preocupação de ordem estrutural.

Os tipos de ataques em potencial incluem o seguinte:

- Águas puras
- Sulfatos
- Sulfitos
- Cloretos
- Ácidos
- Desenvolvimento de plantas e algas
- Ataque combinado (efeito mais severo do que o proveniente de uma causa única)
- Sais marinhos, em empreendimentos próximos ao mar

A ocorrência de assoreamento próximo à barragem e suas instalações de descarga não pode ser permitida, pois pode afetar adversamente o controle e a descarga de cheias, a operação ou um esvaziamento de emergência, ou a estabilidade da barragem.

Meios adequados deverão ser estabelecidos para prevenir a excessiva sedimentação do reservatório devido a incêndios florestais ou mudanças na utilização das terras de montante, bem como rupturas dos taludes do reservatório ou padrões de erosão. As ações de transporte de sólidos pela água do rio devem ser investigadas, assim como as fontes potenciais de sedimentos dentro da área de drenagem a montante do reservatório.

Nos locais em que houver a entrada de quantidades substanciais de sedimentos no reservatório, as regras de operação de cheias devem levar em conta a correspondente redução do volume útil.

As comportas e saídas das descargas de fundo devem ser projetadas, e sua operação programada, de modo a minimizar a deposição de sedimentos e o arraste de fundo próximo à tomada d'água.

Medidas corretivas podem ser necessárias devido à abrasão no concreto e nas armaduras onde houver a passagem de sedimentos erosivos, pelas descargas, em grandes concentrações.

## **COLETA E MEDIÇÃO DO PERCOLADO**

Neste item é abordado a importância da coleta, da medição e do monitoramento do percolado em relação à segurança de barragens de terra. Ele também fornece as práticas recomendadas para executar essas funções. Normalmente, são consideradas três áreas principais de observações relacionadas ao percolado: (1) fluxo e quantidade, (2) nível de água e pressão e (3) atributos de qualidade da água, o qual este trabalho objetiva apresentar.

Observações relacionadas ao percolado através de uma barragem de terra ou sua fundação pode dar uma indicação antecipada da natureza, localização e gravidade dos modos de falhas potenciais (MFPs) que já possam ter iniciado ou possam, ainda, iniciar, nos níveis mais altos do reservatório. Por exemplo, um vigoroso fluxo de areia sendo descarregado no sedimento a jusante da barragem pode indicar que uma erosão interna (*piping*) da fundação já tenha se iniciado e que tem potencial de rápida progressão. Da mesma forma, se o percolado estiver

concentrado na zona de encosta pode ser indicação de um caminho de fluxo preferencial através da desta encosta, que poderia fornecer uma via para erosão interna em gradientes mais elevados.

A coleta do percolado de uma barragem e seu monitoramento, devem ser planejados com todos os modos de falhas possíveis, para a possibilidade de antecipação do problema, em cada estrutura particular, dadas suas características geológicas e de projeto, únicas. O ideal é que todos os locais de coleta do percolado, já sejam definidos, no momento final da obra da barragem, mas é claro que novos locais surgirão a qualquer momento. A identificação precoce de MFPs facilitam a realização de ações de emergência ou de reparação, as quais, sem este planejamento, costumam ser executadas em cima da hora.

Medir quanti e qualitativamente o percolado da barragem, oferece benefícios importantes:

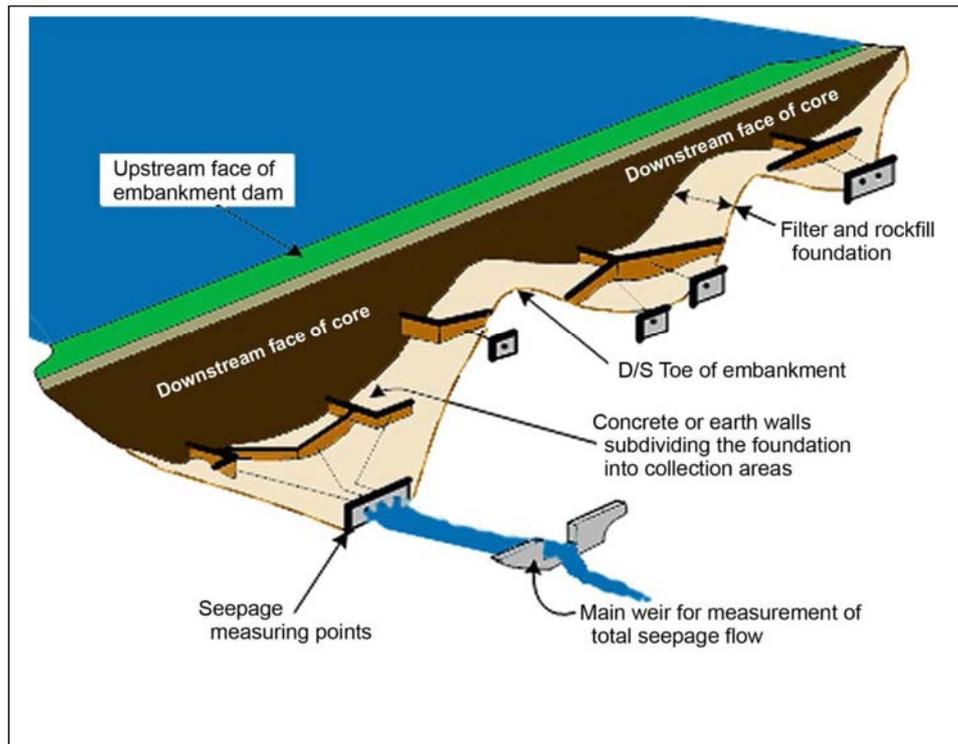
- (1) **Comparação com o projeto:** medição atual do percolado pode ser comparada com as taxas do percolado presumidas, ou que foram calculadas durante o projeto, para avaliar se a barragem e seus sistemas de controle estavam funcionando como previstos (drenos, cortes da fundação, etc);
- (2) **Identificação das mudanças em relação ao tempo:** A aparência de um percolado inesperado ou mudanças de suas características quanti e qualitativas, longo de um período, podem alertar o proprietário da barragem para potenciais problemas que ocorrem dentro da barragem ou em sua fundação, e permitirem a implementação de medidas corretivas em tempo hábil;

Em resumo, a quantidade e a qualidade do percolado, são importantes indicadores de problemas relacionados com a barragem. Grandes fluxos inesperados, que variam com o tempo, e, particularmente, o aumento destes fluxos, são preocupantes, bem como anomalias nos parâmetros de qualidade, tais como turbidez, sólidos dissolvidos e potencial de corrosão. Fluxo contendo partículas suspensas de solo (sedimentos) é indicativo de que processos erosivos internos estão ocorrendo. Comparação do teor de sólidos dissolvidos entre a água do reservatório e a água do percolado pode ser uma ferramenta importante de avaliação da dissolução da rocha na fundação ou encosta e, portanto, da criação de caminhos preferenciais, potencialmente propícios à erosão interna ou outros perigos. Quando a possibilidade de dissolução existe, amostras da água do reservatório e da percolação devem ser coletadas, para a análise da sua qualidade, se tais dados não estiverem disponíveis, e tal análise pode identificar o material solúvel. Se a taxa de percolação puder ser determinada, a taxa de dissolução pode ser estimada.

Além disso, a química da água do percolado pode afetar adversamente a integridade da instrumentação utilizada na barragem, ou outras características estruturais, por exemplo, as telas dos poços de alívio podem ser corroídas pela água excessivamente ácida, provocando a perda do meio filtrante e de materiais da fundação dentro do poço. As telas podem, também, ficarem obstruídas com precipitados químicos se a água for rica em minerais, resultando em aumento de pressão na fundação e/ou exigindo maior manutenções.

## **DRENOS**

Drenos são partes integrantes da barragem, projetadas, especificamente, para coleta e controle do percolado. Os sistemas de drenagem também podem ser adicionados após a construção da barragem. Todos os sistemas de drenagem devem ser monitorados em sua taxa de fluxo, quantidade e parâmetros de qualidade de água. Este monitoramento tem duas principais finalidades: verificar o desempenho de drenagem adequada (comparando o atual com o previsto ou esperado) e detectar potenciais problemas no percolado. A figura 1 ilustra um *layout* dos elementos de filtro e dreno integrados na encosta a jusante e localizados em pontos estratégicos para interceptar e controlar o fluxo do percolado.



**Figura 1 - Sistema de coleta e medição cônica instalado na superfície da fundação a montante da barragem de terra**

## PARÂMETROS MEDIDOS NO PERCOLADO

As medições na qualidade de água do percolado, detectam alterações nas concentrações de sólidos suspensos (turbidez), de sólidos dissolvidos (dissolução de minerais) e no potencial de corrosão. Sólidos suspensos são indicativos do processo de erosão interna que transporta fisicamente as partículas do solo. Dissolução de minerais é um processo químico que ocorre principalmente quando certos materiais do alicerce da fundação ou encosta estão presentes.

### 1. TURBIDEZ

O material erodido (partículas sólidas em suspensão) pode ser prejudicial para o desempenho de uma barragem se as partículas transportadas criarem espaços internos vazios ou causarem deficiências estruturais. Um método para detectar se o particulado está com material erodido, é medir a qualidade da água para a presença de partículas suspensas do solo. Turbidez é uma medida da quantidade de luz que é adsorvida ou refletida em uma determinada quantidade de água do percolado. Turbidez zero indica que a água é clara (ou seja, sem partículas de solo presentes). Medir quantitativamente os valores de turbidez podem determinar se o percolado está causando erosão interna. Para detectar episódios de erosão, o monitoramento da turbidez deve ser contínuo.

A presença de partículas suspensas na água do percolado pode ser determinada, simplesmente, por inspeção visual. Uma simples descrição visual citando se o percolado está límpido ou turvo. Os sólidos suspensos serão geralmente, as partículas maiores (sílica, areia, cascalho pequeno) que sedimentam no fundo do frasco de uma amostra. Um aumento da turbidez indica que a água carrega sólidos enquanto passa através da barragem, que é um indicativo de erosão interna. Uma avaliação da turbidez e sólidos deve ser feita para observar qualquer alteração entre inspeções. O método mais fácil para comparar mudanças é recolher uma amostra da água em um jarro marcado com a data de coleta. Um frasco diferente deve ser usado até cinco ou seis amostras serem recolhidas. Em seguida, os frascos podem ser reutilizados, começando com o que contém a amostra mais antiga. Todos os frascos devem ser agitados quando uma nova amostra é coletada. Desta forma, cada nova amostra pode ser comparada com os exemplos anteriores para observar qualquer alteração no visual ou turbidez. Os



sedimentos coletados na parte inferior dos frascos podem ser pesados e peneirados para medição exata ou classificação do sedimento.

Turbidímetros também podem ser usados para quantificar com precisão a concentração de sedimentos suspensos (partículas do solo) na água do percolado. Turbidímetros são limitados porque eles devem ser calibrados cada vez que se altera o tamanho das partículas do sedimento. Problemas com a formação de filmes sobre superfícies de espelhos e lentes também podem ser encontrados com estes medidores. Tecnologias avançadas incluem o uso de difração de laser para determinar a concentração e a distribuição de tamanho de sedimentos. Os avanços dessa tecnologia para ambientes costeiros são descritos em Agrawal and Pottsmith (1999, 2004).

## 2. SÓLIDOS DISSOLVIDOS

Rochas solúveis em água e minerais tais como o gesso, anidrita, calcita e dolomita não são incomuns. Estes constituintes químicos são frequentemente encontrados na fundação da barragem e encostas, e sua solubilidade na água do percolado pode causar problemas devido à formação de vazios internos. Os espaços vazios, formados pela dissolução de minerais podem levar a maior condutividade hidráulica e a formação de caminhos preferenciais de fluxo na fundação ou encosta. Se há progresso do particulado, pode ocorrer aumento destes espaços ou aparecimento de novos. A resultante de erosão interna, espaços ou defeitos estruturais, podem, eventualmente, contribuir para a falha da barragem de terra.

Se a barragem é localizada sobre materiais de fundação que potencialmente contêm minerais solúveis em água, um sistema de amostragem, ensaio e avaliação do particulado deve ser implantado. Investigações químicas do particulado são interdisciplinares e exigem a colaboração de engenheiros, geólogos e químicos.

## 3. POTENCIAL DE CORROSÃO

Além de potencialmente dissolver determinados materiais da fundação da barragem, como discutido acima, a química da água do particulado também pode afetar o bom funcionamento dos conduítes da tubulação, telas de aço, instrumentação, ou outros itens expostos a esta água, por um período prolongado de tempo. Por exemplo, se a água do particulado contiver carbonato de cálcio, depósitos calcários (escala) podem formar-se sobre esses itens. Alguns itens, por causa disto, eventualmente, irão restringir o fluxo. Da mesma forma, um instrumento colocado em uma calha de medição do particulado poderá ter acúmulo de escala, que irá eventualmente afetar o funcionamento do instrumento e da exatidão da medida do particulado.

Por outro lado, se o pH estiver baixo, a água do particulado poderá corroer certos metais expostos ao fluxo de água durante um período de tempo. É recomendado que a tubulação de aço tenha um revestimento protetor interior se o pH da água é inferior a 6,5. No entanto, um pH superior a 6,5 não é necessariamente uma garantia de que nenhuma corrosão ocorrerá. Foi estudado nos Estados Unidos que a água extremamente pura, derivada de derretimento de neve, pode produzir severa corrosão em tubulações de aço sem forro. Além do pH, outras variáveis, incluindo cloretos, oxigênio dissolvido e íons sulfato influenciam a corrosão do aço. Alumínio pode causar corrosão rapidamente em um ambiente de pH elevado.

Para determinar a tendência da água (ou, inversamente, seu poder corrosivo), vários índices ou fórmulas foram desenvolvidos ao longo dos anos, com cada um, considerando as diferentes variáveis da química da água. O índice mais comum é o de Langlier (ISL), desenvolvido por Langlier em 1936. A ISL considera os efeitos do cálcio, alcalinidade total, sólidos dissolvidos e temperatura para chegar a um valor calculado de fórmula. O valor calculado é então simplesmente subtraído do valor de pH da água. Se o resultado for positivo, então a água potencialmente irá desenvolver depósitos minerais (escala). Se o resultado for negativo, a água tenderá a dissolver o carbonato de cálcio (ou seja, ser corrosiva). Se o resultado for zero, a água é "equilibrada" e não deve afetar quaisquer objetos expostos como instrumentação. O ISL foi amplamente utilizado como um indicador do potencial de deposição e corrosão mesmo que seja apenas uma medida da capacidade da água para dissolver o carbonato de cálcio. O ISL é calculado pela seguinte equação:

$$ISL = pH - pHs$$



onde:

pH = pH da água

pHs = pH de água na saturação com carbonato de cálcio

O valor do ISL maior do que cerca de +0,5 ou +1,0 indica a tendência para a deposição de carbonato de cálcio, enquanto um valor menor do que cerca de -0,5 ou -1,0 indica uma tendência para a não deposição de carbonato de cálcio e, possivelmente, corrosão.

Existem outros índices para cálculo do potencial de corrosão.

A corrosividade da água percolada na barragem, deve ser verificada a fim de identificar problemas potenciais de corrosão. Se a água for corrosiva, medidas de proteção devem ser consideradas. Estas medidas podem incluir forros ou revestimentos, usando materiais não corrosivos tais como plástico ou aço inoxidável, ou a instalação de proteção catódica (malha de anodos ou alimentação elétrica externa) em elementos metálicos sensíveis, tal como utilizado em adutoras. O potencial da água para produzir a deposição de precipitados químicos (escala) também deve ser verificado.

## CONCLUSÃO

Um plano de monitoramento da qualidade da água do reservatório (montante da barragem) e do percolado (jusante da barragem), deve ser elaborado e implantado, se possível logo após sua construção, ou a qualquer momento para verificação e acompanhamento de suas estruturas, a fim de encontrar possíveis anomalias, as quais possam comprometer essas estruturas e, conseqüentemente, a segurança da barragem.

Um monitoramento contínuo permite a antecipação ao problema, permitindo que o proprietário da barragem tenha tempo hábil para tomada de decisões mais assertivas, melhorando o desempenho da barragem e até mesmo prolongar sua vida.

O percolado deve ser monitorado regularmente para determinar se está aumentando, diminuindo ou permanecendo constante, conforme o nível do reservatório se altere. Uma taxa de fluxo que não muda em relação ao nível de água do reservatório pode ser uma indicação de problemas de erosão interna, ou pode ser simplesmente devido a um dreno entupido. Manutenções periódicas eliminarão incertezas do sistema de medição. Sempre que possível, todos os elementos instalados devem ser acessíveis para manutenção. Se, após a instalação final, um instrumento ou dispositivo não for acessível para manutenção, outros instrumentos ou dispositivos devem ser considerados para garantir isto.

Inspecções regulares dos pontos de drenagem, tubos coletores, canais, valas, barragens, calhas, etc., são necessárias para iniciar uma manutenção de rotina, removendo qualquer sedimento, vegetação ou detritos que obstruam o fluxo. Poços de observação e alívio também exigem inspecções regulares e manutenção para evitar impedimentos da tubulação ou incrustações devido a crescimentos biológicos, subprodutos de água química e entupimento físico.

Por fim, estabelecer uma rotina de monitoramento regular e contínuo, para a qualidade da água da barragem, é fundamental para sua operação, bom desempenho e durabilidade, garantindo sua segurança, junto a muitos outros itens imprescindíveis.

## PRÓXIMOS PASSOS

Apresentar exemplos práticos dos conceitos inseridos no trabalho.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas – ANA (2019). Gestão da Água – Saiba quem regula – Barragens e Reservatórios. São Paulo. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/>>. Acesso em: 01 de maio de 2019.

Agrawal, Y.C.and H.C.Pottsmith (1999). “Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport”, *Xibei Gongye Daxue Xuebao/Journal of Northwestern Polytechnical University* 17(3):89-114.

\_\_\_\_\_ (2004). “LISST laser diffraction sensors advance sediment monitoring”, *Sea Technology* 45(8):33-38.

Governo do Estado de São Paulo (2019). Entenda como funcionam as represas do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/>>. Acesso em: 01 de maio de 2019.

*Interagency Committee on Dam Safety (ICODS). FEMA P-1032. (2015). Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion. 576p.*

Ministério da Integração Nacional (2002). *Manual de Segurança e Inspeção de Barragens*. Brasília-DF, 148p.

#  
#