

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL- GUARAPUAVA  
ENGENHARIA CIVIL**

**JOÃO MARCELINO LACERDA PEREIRA**

**ANÁLISE SOBRE A POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE  
BARRAGENS COM ÊNFASE NOS CRITÉRIOS DE  
MONITORAMENTO/INSTRUMENTAÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GUARAPUAVA**

**2021**

**JOÃO MARCELINO LACERDA PEREIRA**

**ANÁLISE SOBRE A POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE  
BARRAGENS COM ÊNFASE NOS CRITÉRIOS DE  
MONITORAMENTO/INSTRUMENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Petrônio Rodrigo Mello Montezuma.

**GUARAPUAVA**

**2021**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Guarapuava  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ANÁLISE SOBRE A POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS COM ÊNFASE NOS CRITÉRIOS DE MONITORAMENTO/INSTRUMENTAÇÃO**

Por  
**JOÃO MARCELINO LACERDA PEREIRA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16:00 do dia 27 de agosto de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Petrônio Rodrigo de Mello Montezuma  
Prof. Orientador

---

Prof. Ms. Nelson Henrique Joly  
Membro titular

---

Prof. Dr. Rafael Cerqueira Silva  
Membro titular

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar dou graças a Deus, que me deu o favorecimento da vida, e principalmente pelo Seu ato de misericórdia, me favorecendo com a fé, a qual me traz a paz que excede todo entendimento de uma vida eterna.

Aos meus pais e meus irmãos que durante toda minha vida sempre foram presentes, e que durante o período da graduação sempre me apoiaram em todos os sentidos, mas em especial, com a segurança de ter um lar.

Agradeço também aos meus amigos da graduação que sempre estiveram presentes no dia a dia dessa jornada, nos momentos felizes, nos momentos estressantes. Desta forma, compactuamos, algumas vezes, o sentimento de descontentamento em relação a alguns trabalhos ou conteúdos propostos em certas disciplinas. Além disso, devo realçar os momentos de descontração, onde nos cafés da tarde, podíamos trocar confidências. Destaco aqui meus amigos Beatrix, Cleverson e Diego, que estiveram comigo até a chegada dessa etapa tão importante.

Certamente não teria como deixar de lado os professores e a instituição que fizeram parte dessa jornada. Agradeço a todos, sem exceção, pela construção do conhecimento adquirido durante essa jornada. Em especial, agradeço ao professor Petrônio que não só foi somente um excelente professor e orientador, mas também se tornou um grande amigo durante os anos que passei na instituição, trazendo não somente conhecimentos teóricos e práticos relacionados à engenharia, mas também conhecimentos de vivência.

Não tem como deixar de lado também uma profissional e amiga que me ajudou muito durante todos os anos da graduação. Obrigado Luciane Becker por ser essa profissional e pessoa incrível. Certamente, suas orientações durante o processo terapêutico, me ajudaram muito.

## RESUMO

PEREIRA, João Marcelino Lacerda. **Análise sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens com ênfase nos critérios de monitoramento/instrumentação**. 2021. 62 f.. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2021.

A evolução tecnológica possibilitou o avanço dos sistemas de segurança em, praticamente, todas as áreas do conhecimento. A engenharia de barragens também absorveu essas novas tecnologias. Entretanto, ainda ocorrem rompimentos de barragens. Desta forma, torna-se imprescindível o conhecimento sobre a legislação vigente e os métodos de monitoramento. A legislação define que o controle da segurança de barragens existentes deve ser feito por meio de relatórios elaborados por profissionais com responsabilidade técnica.

Neste trabalho são abordados os principais equipamentos de monitoramento de barragens, acrescidos de uma breve visão sobre os avanços tecnológicos deste tipo de equipamento

Com isso, é feito um estudo sobre os principais equipamentos utilizados para o monitoramento da estabilidade de barragens, e, também, uma análise da Política Nacional de Segurança de Barragens, definida pela Lei nº 12.334, de 2010. Nota-se que há uma grande similaridade entre as legislações nacional atual e a canadense.

**Palavras-chave:** Barragens. Instrumentação. Controle. Legislação. Órgãos Regulamentadores.

## ABSTRACT

PEREIRA, João Marcelino Lacerda. **Analysis of the National Dam Safety Policy with an emphasis on monitoring / instrumentation criteria**. 2021. 62 p. Work of Conclusion Course in Civil Engineering - Federal Technology University - Paraná. Guarapuava, 2021.

Technological evolution has enabled the advancement of security systems in practically all areas of knowledge. Dam engineering has also absorbed these new technologies. However, dam failures still occur. Thus, knowledge of current legislation and monitoring methods is essential. The legislation defines that the safety control of existing dams must be done through reports prepared by professionals with technical responsibility.

This work addresses the main dam monitoring equipment, plus a brief overview of the technological advances of this type of equipment.

With this, a study is carried out on the main equipment used to monitor the stability of dams, as well as an analysis of the National Dam Safety Policy, defined by Law No. 12,334, of 2010.

It's noted that there is a great similarity between current national legislation and Canadian ones.

**Keywords:** Dams. Instrumentation. Control. Legislation. Government Agencies.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	7
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	9
1.2	OBJETIVOS .....	9
1.2.1	Objetivo Principal.....	9
1.2.2	Objetivos Secundários .....	10
1.3	JUSTIFICATIVA .....	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1	IMPORTÂNCIA DAS BARRAGENS .....	12
2.2	PRINCIPAIS TIPOS DE BARRAGENS.....	14
2.2.1	Barragem de Terra .....	14
2.2.2	Barragem de Enrocamento.....	16
2.2.3	Barragem de Concreto .....	17
2.3	INSTRUMENTAÇÃO .....	20
2.3.1	Principais Tipos de Equipamentos de Instrumentação.....	23
2.3.1.1	Medidor de nível de água e poropressão .....	23
2.3.1.2	Medidor de infiltração e vazamento .....	27
2.3.1.3	Medidores de deslocamentos.....	28
2.3.1.4	Medidores de tensão.....	34
2.3.1.5	Medidores de temperatura .....	35
2.3.2	Avanços Tecnológicos .....	37
2.3.2.1	Sistema de aquisição e transmissão automática de dados (SATAD) .....	37
2.3.2.2	Dispositivos para varredura a laser terrestre .....	38
2.3.2.3	Interferometria por radar de abertura sintética (InSAR) .....	40
2.3.2.4	Sistema global de navegação por satélite (GNSS) .....	40
2.4	SEGURANÇA DE BARRAGENS .....	41
2.4.1	Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) .....	41
2.4.2	Órgãos Responsáveis pela Fiscalização .....	48
2.4.3	CrITÉRIOS de Inspeção de Barragens .....	51
2.4.4	Legislação Canadense .....	54
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	55
3.1	MATERIAIS .....	55

3.2	METODOLOGIA.....	55
4	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS .....	59



# 1 INTRODUÇÃO

As barragens estão presentes como um fator primordial para o desenvolvimento da humanidade. Existem estudos que apontam seu surgimento a aproximadamente 5000 anos atrás ou mais. Nessa época, a humanidade (especificamente os sumérios) começava a ver a viabilidade do uso de canais para a irrigação e controle de cheias. Ao longo dos séculos, há registros de construções de barragens nas regiões do Egito, Babilônia, Índia e Persa, fazendo assim parte do antigo e novo mundo (JANSEN, 1983).

Registros históricos apontam que as primeiras barragens foram construídas na Índia e Sri Lanka, a princípio, com taludes ao longo do curso de água. Todavia, esses não proporcionavam grande segurança e por vezes ruíram. Dessa forma, no Egito houve o registro, segundo o historiador Heródoto, da construção da primeira barragem de alvenaria (período de 5.700 e 2.700 a.C.), localizada em Kosheish, sendo atribuída ao Faraó Menes (JANSEN, 1983).

Ao longo dos anos, percebeu-se que as barragens poderiam servir para diversos fins. Zuffo (2005), ao citar Veltrop (1991), evidencia isso:

Desde esse período até o final do século XIX, as barragens desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento econômico das nações, na produção de água para uso doméstico, irrigação, para repor perdas em canais de navegação e abastecimento de água, entre outros (ZUFFO, 2005)

Com a Revolução Industrial, esse uso se ampliou, diversificando as aplicações de barragens para geração de energia e contenção de rejeitos provenientes da mineração (ZUFFO, 2005). Atualmente, conforme nos informa o Comitê Brasileiro de Barragens, a definição geral de barragem se dá como:

As barragens, definidas como obstáculos artificiais com a capacidade de reter água, qualquer outro líquido, rejeitos, detritos, para fins de armazenamento ou controle, podem variar em tamanho desde pequenos maciços de terra, usados frequentemente em fazendas, a enormes estruturas de concreto ou de aterro, geralmente usadas para fornecimento de água, de energia hidrelétrica, para controle de cheias e para irrigação, além de diversas outras finalidades. (CBDB, 2013).

De acordo com a ONU (2019), nessa época, a população estimada já chegava aos 7,7 bilhões de pessoas e a projeção é que chegue aos 9,7 bilhões em 2050. Além

disso, segundo a ONU (2018), o aumento da concentração demográfica nos centros urbanos que estava em torno de 55%, tem previsão de chegar em 68% em 2050. Tendo em vista esses dois fatores, certamente haverá um aumento da demanda do abastecimento de água, seja ele para geração de energia, industrialização e/ou consumo. Com isso, cresce a necessidade da ampliação do número de barragens, com o propósito de atender todas essas projeções.

Os aspectos considerados para a construção de uma barragem, segundo Costa (2012), são essencialmente de duas naturezas:

- Fatores relacionados com a obra em questão, tendo como abordagem diversos itens, que incluem desde o escopo da obra, projetos de execução, recursos financeiros necessários, metodologia construtiva entre outros;
- Analisar os fatores relacionados as condições naturais existentes no local, que incluem tanto a climatologia e recursos hídricos, morfologia, geologia e geotecnia, além de uma análise profunda quanto aos impactos ambientais decorrentes do empreendimento.

A concepção de uma barragem é uma tarefa importante. Por isso, a garantia quanto à minoração do risco de rompimento, por meio do monitoramento é fundamental. Sendo assim, para garantir a segurança desse tipo de obra, no Brasil, a Lei nº 12.334/2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens, define a responsabilidade de fiscalização em quatro grupos. O Ministério do Meio Ambiente exemplifica da seguinte forma esses quatro grupos:

- i) Barragens para geração de energia, fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel);
- ii) Barragens para contenção de rejeitos minerais, fiscalizadas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM);
- iii) Barragens para contenção de rejeitos industriais, sob responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e órgãos ambientais estaduais;
- iv) Barragens de usos múltiplos, sob fiscalização da Agência Nacional de Águas (ANA) ou de órgãos gestores estaduais de recursos hídricos. (BRASIL, 2015).

Conforme o Art. 6º da Lei nº 12.334/2010, há uma parametrização quanto aos instrumentos necessários para adequação de todo os tipos de barragens em

conformidade à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). O principal interesse desses instrumentos é contemplar, de forma geral e específica, todos os planos necessários para o controle e monitoramento das barragens em uso. Desta forma, torna-se possível antecipar todos os cenários de ações necessárias para minimizar os danos decorrentes de uma possível ruptura (BRASIL, 2010).

Silveira (2006) relata que a preocupação quanto ao controle e auscultação em barragens tem seu primeiro marco histórico em 1853, na França, com a identificação de deslocamentos de cristas, através de medidas topográficas realizadas em uma barragem em cantaria de Grosbois, construída entre 1830 e 1838. Em diversas etapas, após o início do enchimento do reservatório, houve a necessidade de reforços estruturais.

Já os piezômetros foram empregados desde o século XIX, em diversas localidades, com funções distintas. Com o decorrer do tempo, com as modificações e adaptações, esses equipamentos levaram ao projeto de células de pressão, sendo seu objetivo a medição da pressão neutra (SILVEIRA, 2006).

## 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

É feito um estudo sobre os principais equipamentos utilizados para o monitoramento da estabilidade de barragens. Além disso, são estudados os aspectos legais quanto à fiscalização de barragens pelo poder público.

## 1.2 OBJETIVOS

A seguir, são apresentados o objetivo principal e os objetivos secundários a serem alcançados por este trabalho.

### 1.2.1 Objetivo Principal

Analisar os principais aspectos da Política Nacional de Segurança de Barragens, e realizar o levantamento dos principais instrumentos utilizados para acompanhamento do monitoramento da estabilidade de barragens.

### 1.2.2 Objetivos Secundários

- Detalhar o funcionamento dos principais instrumentos de auscultação de barragens;
- Exemplificar algumas metodologias e/ou tecnologias para auscultação de barragens;
- Definir os principais pontos das Leis vigentes quanto à fiscalização bem como os Órgãos competentes;
- Verificar as diretrizes da Lei vigente em relação ao monitoramento.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A evolução tecnológica possibilitou o avanço dos sistemas de segurança em, praticamente, todas as áreas do conhecimento. A engenharia de barragens também absorveu essas novas tecnologias. Entretanto, ainda ocorrem rompimentos de barragens. Desta forma, torna-se imprescindível o conhecimento sobre a aplicação destas novas tecnologias e o detalhamento de seu potencial para aumentar o nível de segurança e a qualidade do monitoramento de barragens.

No Brasil, conforme evidencia Silveira (2006, p. 19), passou-se a confeccionar diversos instrumentos para a auscultação partir da década de 1970, destacando-se: “(...) novos tipos de medidores de recalques; piezômetros elétricos, hidráulicos e pneumáticos; células de pressão total; marcos superficiais; alguns acessórios para inclinômetros e medidores de vazão.”

Serra (2018) observou que as instituições modernas estão profundamente entrelaçadas com sistemas de confiança abstratos ou especializados, que conectam as práticas locais às relações sociais globalizadas no que diz respeito a aspectos cruciais, como segurança, risco e perigo.

Esses sistemas abstratos de confiança são mediados, possibilitados e operacionalizados por organizações públicas (mineração, água, meio ambiente e segurança e saúde, entre outras) e privadas (empresas de consultoria nacionais e globais que fornecem relatórios). Seus especialistas têm o papel principal de gerenciar o risco a que possam estar sujeitos trabalhadores e comunidades envolvidos nesse ambiente.

Uma das obrigações legais das empresas é a elaboração e atualização do Plano de Segurança de Barragens (PSB), conforme determina a Portaria da Agência Nacional de Mineração nº. 70.389 / 2017. Como dito anteriormente, a implementação do PSB é obrigatória e deve ser preparada antes do primeiro enchimento, quando deverá estar à disposição do pessoal de segurança e dos órgãos públicos e fiscalizadores. O objetivo do PSB é contribuir para a gestão da segurança de barragens e deve incluir informações gerais, planos e procedimentos, relatórios de inspeção, revisões periódicas de segurança e um plano de ação de emergência (obrigatório somente para estruturas de barragens com alto risco potencial ou quando exigido pelas agências de supervisão). (SANTOS; WANDERLEY, 2016).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão apresentados alguns conceitos fundamentais para o entendimento do trabalho proposto.

### 2.1 IMPORTÂNCIA DAS BARRAGENS

O controle dos recursos hídricos é de fundamental importância para execução de diversas atividades. Para tal controle, Araújo (2008) evidencia que a diferente disponibilidade hídrica temporal e espacial deve ser investigada a fim de gerenciar os recursos hídricos da melhor forma possível, buscando preencher as lacunas ou excessos conforme a necessidade.

De acordo com sua importância, elas se dividem em dois grupos conforme Costa (2012), sendo eles:

- Barragens de Regularização: têm como objetivo principal a regularização do regime hidrológico de um rio. Logo, após o estudo hidrológico detalhado regional, define-se qual o nível de vazão regular que se deseja atingir. Em tempo de grande precipitação regional acumula-se a quantidade excedente, a fim de que, em tempos de estiagem, seja liberado esse excedente.
- Barragens de Contenção: utilizadas para contenção de enchente, sedimentos, resíduos industriais ou rejeitos de mineração. Para tal, tem-se o controle quanto à liberação da água, anulando qualquer impacto que possa ocorrer à jusante, seja devido ao assoreamento ou mesmo com relação à carga tóxica dos elementos químicos que compõem o material armazenado.

Quando o engenheiro projeta e faz a manutenção das barragens, espera-se que tenham todos os objetivos em mente. Segundo Carvalho (2008), as vantagens das barragens são inúmeras, por isso tanto dinheiro e trabalho são necessários para construí-las e mantê-las. Algumas das vantagens são:

- A eletricidade é produzida a uma taxa constante com a ajuda de hidroeletricidade ou energia hidrelétrica;

- Se não houver necessidade de eletricidade, as comportas também podem ser fechadas, interrompendo a geração de eletricidade. A água também pode ser economizada para uso em outro momento, conforme e quando a demanda de eletricidade for alta. Portanto, o uso da água permanece criterioso;
- As barragens são projetadas por engenheiros bem qualificados para abranger muitas décadas e também podem contribuir para a geração de eletricidade por muitos anos ou mesmo décadas por vir;
- O lago ou reservatório que se forma atrás da barragem também pode ser usado para fins de irrigação, esportes aquáticos ou mesmo como outras formas de atividades prazerosas. Poucas barragens grandes, como a barragem de Bhakra Nangal, presentes na Índia, são atrações turísticas;
- O acúmulo de água dentro do lago significa que a energia também pode ser armazenada quando necessário e também quando a água é liberada para a produção de eletricidade;
- Quando utilizada, a eletricidade produzida pelas barragens nem mesmo produz os gases de efeito estufa e, portanto, também não poluem a atmosfera.

Embora as barragens sejam componentes essenciais de nossos sistemas de infraestrutura, elas também apresentam riscos potenciais. A massa e a energia potencial da água retida por uma barragem podem ser devastadoramente destrutivas se a barragem se romper e a água for liberada de forma descontrolada.

Nem toda barragem que existe hoje é essencial. Muitas barragens sobreviveram ao seu uso, deterioraram-se em suas condições, causaram danos ambientais e / ou representam riscos que superam os benefícios que proporcionam. (SILVEIRA, 2006).

Uma solução para os problemas colocados por barragens obsoletas é removê-las inteiramente. Além da remoção do risco potencial de segurança, muitos benefícios ambientais podem ser percebidos pela restauração das águas aos seus estados naturais de fluxo livre, como a remoção de obstruções à passagem de peixes, redução da temperatura da água, restauração dos fluxos naturais de sedimentos e aumento da dissolução nos níveis de oxigênio. No entanto, os efeitos adversos da remoção da barragem, como aumento das enchentes a jusante ou eliminação do armazenamento de qualidade da água, devem ser considerados (ZUFFO, 2005).

## 2.2 PRINCIPAIS TIPOS DE BARRAGENS

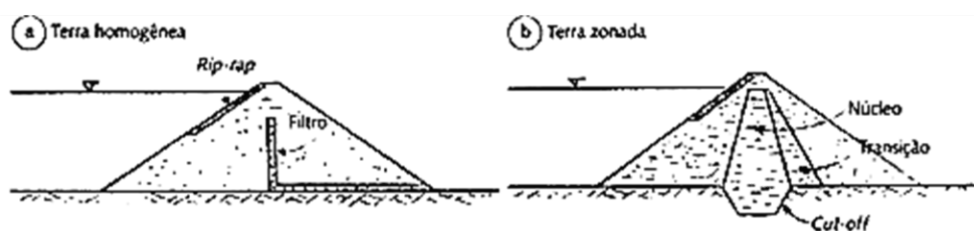
A seguir, são apresentadas as principais técnicas construtivas comumente utilizadas.

### 2.2.1 Barragem de Terra

Uma barragem de terra é construída em camadas de material, que são compactadas com maquinário vibratório ou pesado. O material deve ter um teor de umidade próximo ao seu valor 'ótimo' para atingir a densidade máxima in-situ. Solos que precisam ser flexíveis, como o material do núcleo, são geralmente compactados pouco acima do ideal. Se o solo estiver muito úmido, a compactação é ineficaz e a planta não pode operar (COSTA, 2012).

Quanto ao tipo de barragem, conforme a Figura 1, tem-se as homogêneas ou zonadas. Quanto a vantagem e desvantagem de cada uma depende da finalidade bem como às características dos solos existentes no local, uma vez que eles determinaram os parâmetros referente a resistência e estabilidade. (COSTA, 2012)

**Figura 1- Dois Principais Tipos de Barragem de Terra.**



Fonte: COSTA (2012).

O solo usado nos ombros costuma ser mais rígido e, para isso, o teor de água de colocação é igual ou um pouco abaixo do valor ideal. No outro extremo da faixa, se o solo estiver muito seco, a compactação efetiva não pode ser alcançada. O teste de controle dos materiais de enchimento, tanto na cava de empréstimo quanto após a colocação, é necessário para garantir a conformidade (MASSAD, 2003).

A água no solo é afetada pelo processo de construção. Quando o solo é comprimido pelo processo de compactação e adição de carga, a pressão da água nos poros aumenta. O ar do solo é expulso ou vai para a solução, aumentando o grau de saturação. Como a resistência efetiva do solo é reduzida pela alta pressão da água

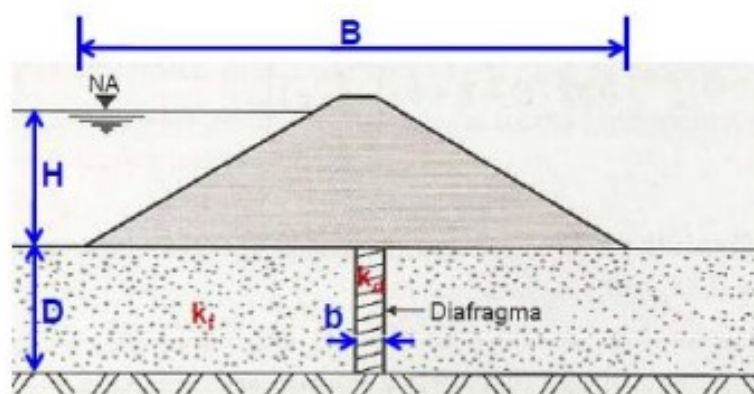


de poros, a barragem pode se tornar instável, nesse instante. Argilas de plasticidade baixa a média, tendem a se comprimir quando carregadas e podem apresentar poropressões de construção elevadas. Quando as argilas escolhidas previamente para compor a barragem possuírem uma tensão de compactação superior à necessária para a construção, tem-se uma argila com alto OCR, portanto, a deformação será baixa frente ao caso onde isso não ocorre, uma vez que o gráfico da relação Tensão X Deformação em argilas com OCR superior a 1, possui inclinação inferior aos casos de argila com tensão de efetiva atuante superior à tensão de pré-adensamento (MASSAD, 2003).

As pressões máximas permitidas para a existência de poropressão a fim de garantir um fator de segurança aceitável contra falhas podem ser calculadas. Durante a construção, essas poropressões podem ser monitoradas usando piezômetros. (COSTA, 2012).

Aterros do tipo diafragma têm um núcleo fino impermeável, que é cercado por terra ou preenchimento de rocha. O núcleo impermeável, denominado diafragma, é feito de solos impermeáveis, concreto, aço, madeira ou qualquer outro material. Ele atua como uma barreira de água para evitar infiltração através da barragem. O diafragma pode ser colocado no centro como um núcleo vertical central ou na face a montante como um cobertor. O diafragma também deve ser amarrado à rocha do leito ou a um material de fundação muito impermeável, caso seja necessário evitar uma infiltração excessiva através das fundações anteriores existentes. A Figura 2 apresenta um exemplo do esquema de diafragma alocado para prevenir a percolação de água na base e/ou fundação da barragem (MASSAD, 2003).

**Figura 2 - Esquema Típico de Parede Diafragma em Fundação de Barragem.**



Fonte: MASSAD (2003) apud MENDONÇA (2012).

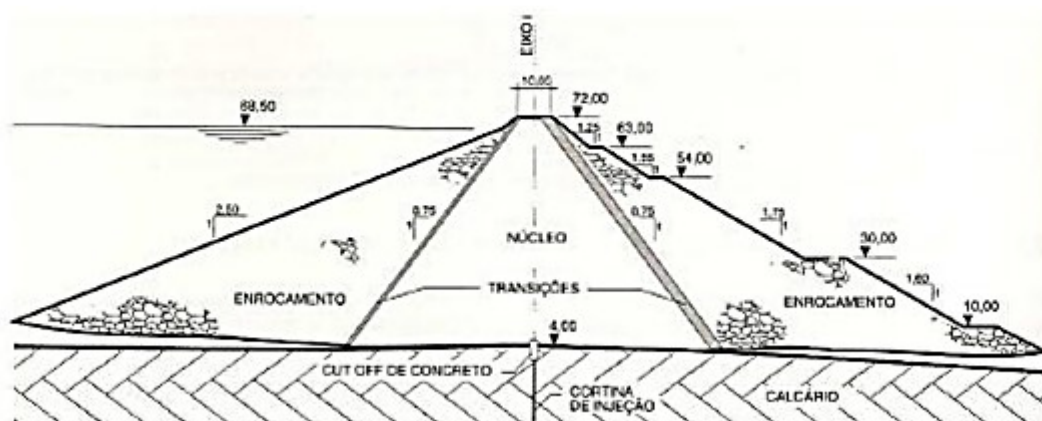
### 2.2.2 Barragem de Enrocamento

A barragem de enrocamento, um tipo de aterro ou as chamadas barragens de terra recobertas por rochas, é uma barreira de retenção de água composta por três partes principais:

- Enchimento de rocha solta por despejo ou compactação com rolo;
- Membrana impermeável feita de alvenaria, concreto, concreto asfáltico;
- Estacas-pranchas de aço, madeira ou outros materiais; e camada de transição.

A membrana impermeável é utilizada como impermeabilizante e pode ser colocada tanto no talude como na encosta à montante. Embora a história seja curta em comparação com a de outros tipos de barragens antigas, o desenvolvimento de barragens de enrocamento durante as últimas décadas estava crescendo em todo o mundo. Na Figura 3 pode-se observar os componentes básicos de uma barragem de enrocamento (SOUZA, 2013).

**Figura 3 - Esquema das Principais Partes de uma Barragem de Enrocamento.**

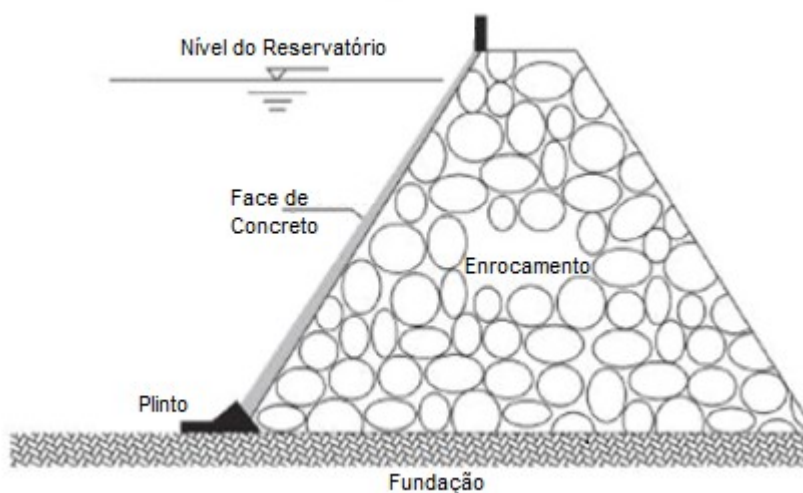


Fonte: SOUZA (2013) apud CRUZ (2004).

São flexíveis em materiais de construção, econômicas e altamente adaptáveis a diferentes condições geológicas e hidrológicas. Essas vantagens tornaram as barragens de enrocamento cada vez mais populares nos últimos anos. Barragens de enrocamento com face de concreto (CFRD), conforme apresentado na Figura 4, e

barragens de enrocamento com paredes centrais são dois tipos típicos (SOUZA, 2013).

**Figura 4 - Esquema de uma Barragem de Enrocamento com Face de Concreto (CFRD).**



**Fonte: Adaptado de MARCONCIN et al. (2018).**

Para o desenvolvimento do projeto de uma barragem de enrocamento, devido à necessidade de verificação das interações entre as camadas verticais, tem-se diferentes abordagens de modelagem. Análises numéricas são indispensáveis para o projeto de barragens e avaliação de segurança, uma vez que essas interfaces de contatos podem afetar muito a deformação e o estado de tensão da barragem. Atualmente, os métodos tradicionais são baseados em elementos de interface, como o elemento de camada fina. Vale ressaltar a importância durante a modelagem de grandes aberturas e a possibilidade de deslizamentos em contato de interfaces (BOST et al., 2019).

### 2.2.3 Barragem de Concreto

Uma barragem de concreto é uma estrutura projetada e construída com o objetivo de reter a água, que geralmente é colocada ao longo do curso de um rio. Uma barragem de concreto é o tipo mais forte de barragem construída nos tempos modernos e pode assumir várias formas. (COSTA, 2012).

Nos tempos atuais, quase todas as barragens são feitas parcial ou totalmente de concreto. O concreto é um excelente material para a construção de barragens

porque é muito resistente quando sob compressão - pressionado ou empurrado junto. Muitos projetos de barragens de concreto aproveitam essa propriedade para produzir barragens extremamente grandes, capazes de reter muitas metros cúbicos de água (ICOLD, 2008).

Em conformidade com SOUZA (2013), as barragens construídas com concreto têm três tipos básicos.

I. Concreto Gravidade: Nesse tipo de barragem, busca-se grandes estruturas a fim de resistir ao empuxo horizontal com a utilização do peso próprio sendo três tipos de materiais comumente utilizados, concreto massa (convencional), ciclópico (adição de grandes pedras ao concreto) ou Concreto compactado a rolo (CCR). A Figura 5 apresenta uma barragem de CCR

**Figura 5 – Barragem de CCR, UHE Simplício – Rio de Janeiro.**



**Fonte: SOUZA (2013)**

II. Concreto Estrutural com Contrafortes: A resistência proporcionada por essas estruturas depende principalmente da fundação, pois é redirecionado a solicitação horizontal através de contrafortes, podendo ser observados na Figura 6. Apesar de proporcionar menor volume e por consequência menor subpressão na base, o projeto estrutural torna-se mais complexo frente à uma barragem de concreto gravidade.

**Figura 6 – Exemplo de Barragem de Contraforte em Roselend - França.**



Fonte: SOUZA (2013) apud SAYÃO (2009)

III. Arco de Dupla Curvatura: Indicada para ser construída em vales estreitos e profundos, uma vez que sua estrutura busca direcionar os esforços para as ombreiras e fundação de acordo com o exemplo da Figura 7. É necessário a existência de rocha sã com alta resistência e rigidez, tanto nas ombreiras quanto na fundação.

**Figura 7 – Barragem em Arco de Gordon, Southwest National Park - Austrália.**

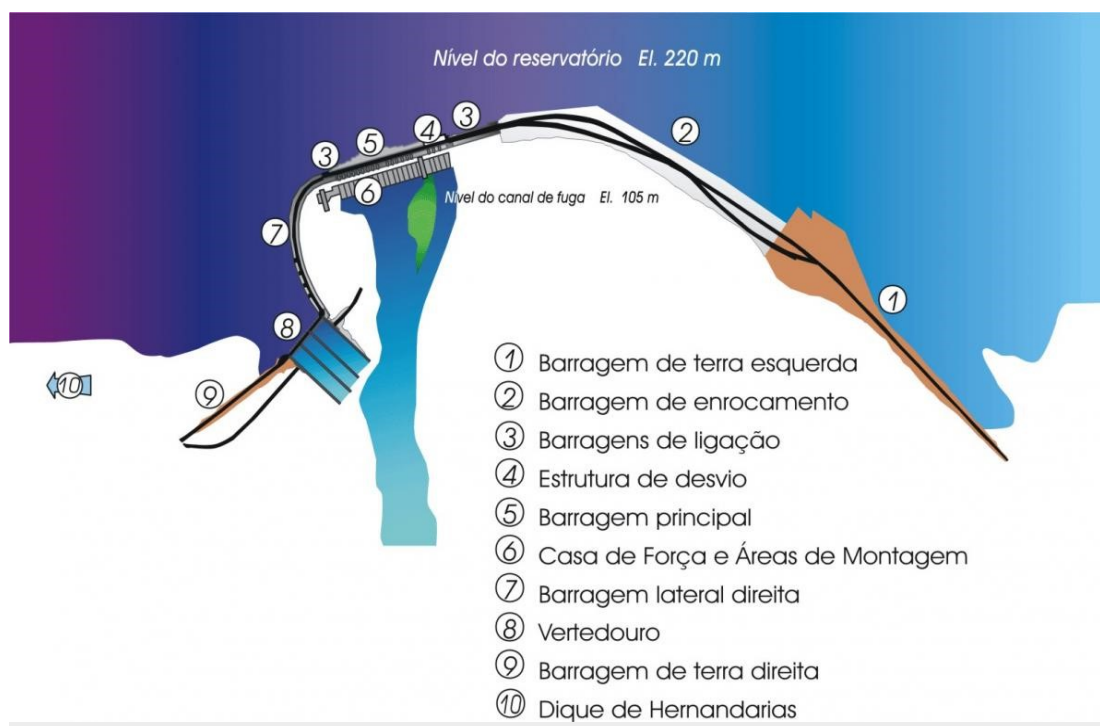


Fonte: SOUZA (2013)

Algumas barragens de concreto podem ter vários pequenos arcos ou contrafortes ou um par de grandes arcos ou outras variações, mas a maioria, senão todos, são variações de um dos três projetos básicos.

Muitas barragens mais recentes estão sendo construídas usando essa técnica, mas os projetos ainda são dos mesmos tipos básicos. Uma barragem típica de concreto possui vertedouros para liberação de água quando necessário, e muitos são projetados para aproveitar o fluxo de água para gerar eletricidade por meio de usinas hidrelétricas. Na Figura 8, temos um exemplo da vista superior da barragem de Itaipu, localizada em Foz do Iguaçu no Paraná. Observa-se que não somente a barragem possui um segmento principal de concreto com vertedouro próximo, mas também possui outros tipos de barragens na sua composição.

**Figura 8 – Visão Superior da Usina Hidrelétrica de Itaipu, Foz do Iguaçu - Brasil.**



Fonte: ITAIPU (2021).

### 2.3 INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação de barragens é o uso de dispositivos para medir os parâmetros de segurança de tais barragens que, juntamente com inspeções visuais e outras medições feitas no local fornece ferramentas poderosas para avaliar o

desempenho e descobrir os primeiros sinais de comportamento anormal. Exame cuidadoso dos dados de instrumentação em uma base pode revelar uma possível condição crítica (FONSECA, 2003).

Por outro lado, a instrumentação pode ser um meio de assegurar que uma condição observada não é séria e não requer medidas corretivas imediatas. Na fase de projeto, muitos fatores e parâmetros são assumidos com relação a materiais usados, desempenho da barragem sob as cargas previstas, condições de fundação e o comportamento dessas fundações durante a operação. Na maioria dos casos, os materiais são testados em laboratórios e os projetos são baseados em cálculos que consideram a barragem e fundação atuando dentro da gama de premissas feitas para cumprir os fatores de segurança exigidos (BAPTISTA E COELHO, 2010).

Em condições reais, sempre há grandes variações nas propriedades dos materiais, métodos de construção e procedimentos de controle, o que pode gerar condições diferentes das premissas originais. Da mesma forma, algumas condições de carregamento podem estar além daquelas assumidas devido a lacunas nos dados registrados ou devido a condições inesperadas (COSTA, 2012).

De acordo com Zuffo (2005), o conhecimento inadequado da fundação, resultante de investigações geológicas insuficientes ou interpretação errada e inadequada pode terminar em problemas de segurança indesejáveis. Experiência acumulada com barragens, juntamente com maior conhecimento de rochas e mecânica do solo e tecnologia de concreto, além de lições derivadas de muitos rompimentos de barragens levaram ao advento e progresso do monitoramento instrumental e as inovações tecnológicas neste campo.

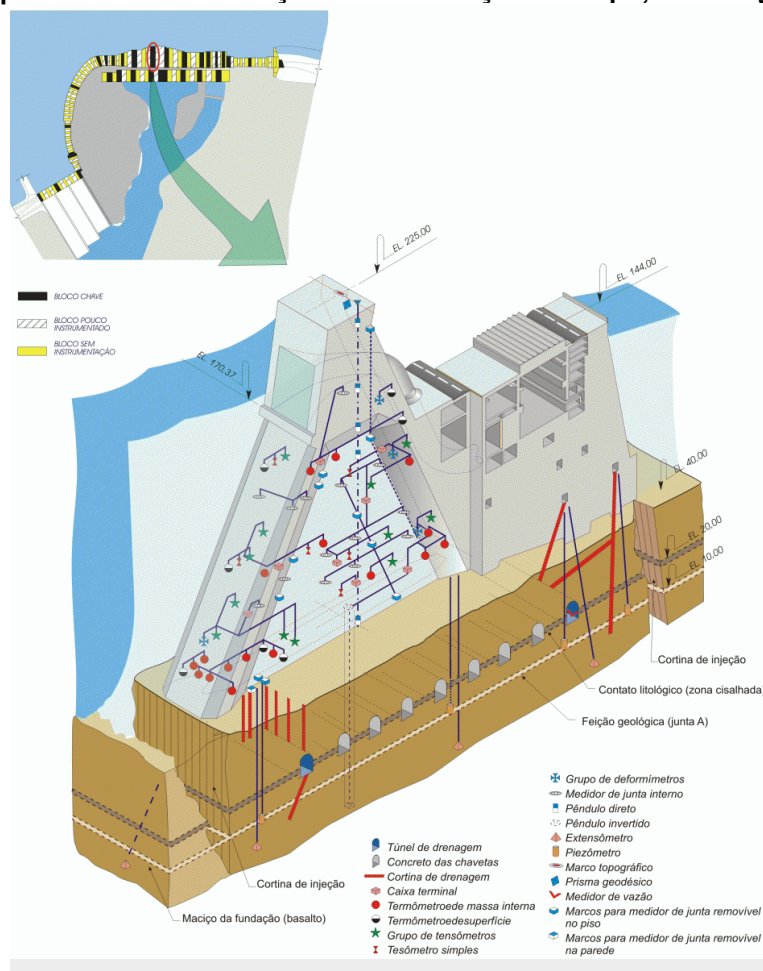
Medidas obtidas a partir de instrumentos podem ser eletrônicas ou feitas usando um dispositivo mecânico. A telemedição tornou possível retransmitir medições em tempo real para centros de controle remoto. Embora dispositivos simples para medições de nível de água e medições de infiltração sejam muito usados, o grande salto foi dado nos Estados Unidos na década de 1930, quando o *Bureau of Reclamation* começou a usar medições controladas para correlacionar o desempenho de estruturas de barragem concluídas com premissas de projeto e construção práticas (FONSECA, 2003).

A construção de novas barragens desde a década de 1930 até a década de 1970 veio com ampla utilização de programas de instrumentação e monitoramento. Esses programas passaram por grandes mudanças nos últimos

anos; por causa do progresso em tecnologia de microcomputador. No entanto, embora muitos avanços tenham ocorrido em aquisição de dados, processamento, componentes de instrumentação e técnicas de medição, os fatores que afetam o desempenho da barragem ou os indicadores de desempenho não mudaram. Assim, verifica-se uma maior ênfase na importância do monitoramento de instrumentação como uma salvaguarda para a segurança da barragem (ICOLD, 2008).

A Usina Elétrica de Itaipu é um exemplo quanto ao acompanhamento do desempenho das estruturas de concreto e fundações uma vez que a Usina conta com 2.400 instrumentos (desses 270 automatizados), sendo 1.358 no concreto, 881 nas fundações e 161 para a geodesia. Na Figura 9 observamos um breve esquema quanto aos instrumentos existentes em uma seção de concreto da barragem principal de concreto (ITAIPU, 2021).

**Figura 9- Esquema de Instrumentação de Auscultação de Itaipu, Foz do Iguaçu - Brasil.**



Fonte: ITAIPU (2021).



### 2.3.1 Principais Tipos de Equipamentos de Instrumentação

A seguir são apresentados alguns instrumentos de auscultação de barragens, separados em acordo com a finalidade de controle.

#### 2.3.1.1 Medidor de nível de água e poropressão

Segundo MASSAD (2003), as elevações do reservatório e da água residual devem ser medidas para fornecer um registro histórico dessas variáveis. Níveis de água no reservatório e à jusante têm uma influência direta nas quantidades de infiltração e percolação através uma barragem e suas fundações e na pressão de elevação na base da barragem. Quando a carga hidráulica (a diferença entre os níveis de água a montante e a jusante) muda, então pode ocorrer uma mudança significativa nas taxas de infiltração e vazamento. Repentinhas mudanças nas quantidades de infiltração podem indicar um problema genuíno na fundação que precisa ser investigado de uma vez.

Os níveis de água e as pressões da água estão inter-relacionados. Registrando as elevações da água à jusante, as elevações da água residual também são importantes. Esses dados de elevação são usados para interpretar outras medições de instrumentação, incluindo a determinação da carga hidráulica e distribuição da pressão abaixo da barragem (COSTA, 2012).

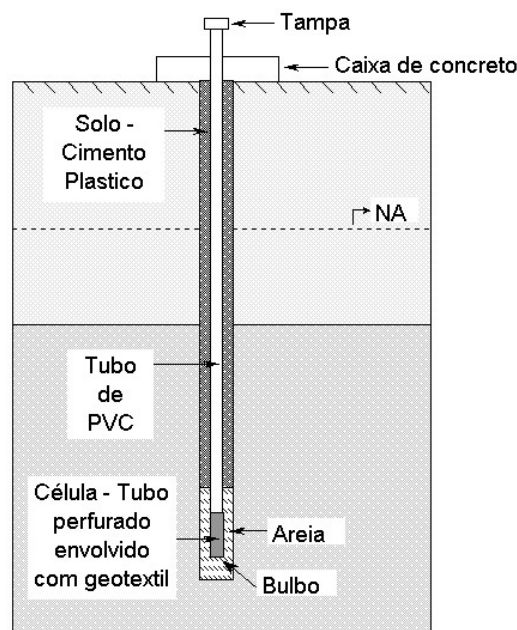
As cargas hidráulicas e as taxas de infiltração são diretamente dependentes da diferença entre as elevações do reservatório e da água residual. Os níveis de água podem ser medidos por medidores de elevação simples, como medidores fixos, autônomos ou acoplados a estruturas permanentes no reservatório (caixas ou galerias de concreto que incorporam vertedouros ou calhas Parshall). As medições também podem ser feitas com dispositivos de detecção de nível de água mais complexos. Para monitoramento automatizado, um flutuador e registrador, sensor ultrassônico, borbulhador ou outro instrumentos semelhantes são usados (FONSECA, 2003).

Dentre os instrumentos comumente utilizados para medição da poropressão de barragens destacam-se os piezômetros. Fonseca (2003), evidencia cinco tipos de piezômetros utilizados para auscultação de barragens, sendo eles:

### A. Piezômetros de Tubo Aberto (Tipo Casagrande):

Conforme apresentado na Figura 10, esse tipo de piezômetro apresenta um esquema simples quanto à sua locação, além de oferecer elevada confiabilidade, durabilidade e custos reduzidos. Em contrapartida, seu uso não permite a medição pressões negativas além do elevado tempo de resposta quando disposto em material de baixa permeabilidade.

**Figura 10- Esquema do Piezômetro de Tubo Aberto ou Casagrande.**

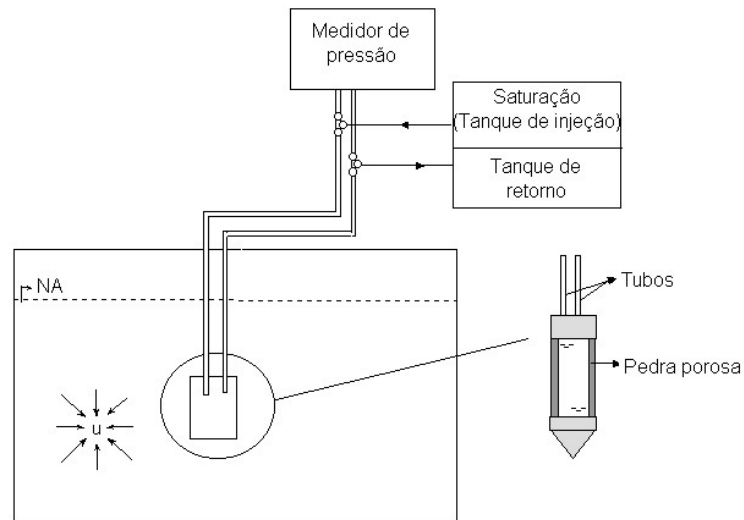


Fonte: FONSECA (2003).

### B. Piezômetros Hidráulicos:

A grande vantagem desse tipo em relação aos demais é a verificação da existência da presença de ar no sistema devido à uma discrepância entre as medidas dos registros conectados, uma vez que conforme nos mostra a Figura 11, os marcadores quando instalados passam pelo processo de desaeração e portando a estabilização entre os registros é garantida no início de seu funcionamento. Mesmo em solo de baixa permeabilidade, esse tipo de piêzometro é eficaz além de permitir ensaios de permeabilidade in situ e a medição de poropressões negativas.

**Figura 11 - Esquema Geral do Piezômetro Hidráulico.**

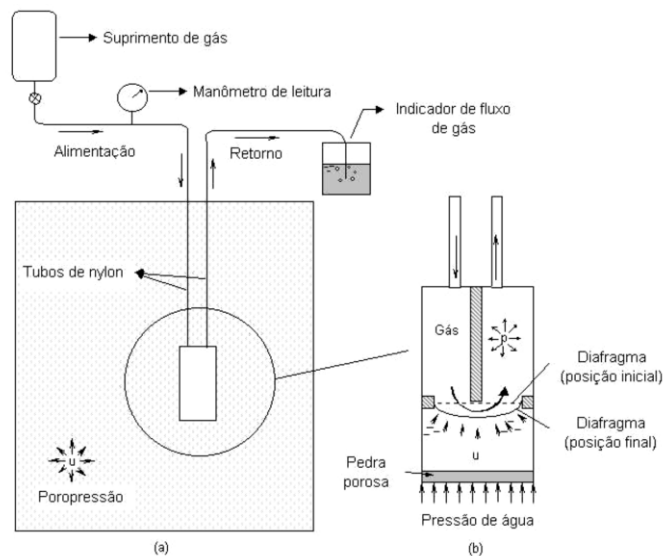


Fonte: FONSECA (2003).

### C. Piezômetros Pneumáticos:

Têm sido o mais utilizado atualmente, uma vez que, por ser um tipo de piezômetro de membrana (plenamente ativado com drenagem de pouca água intersticial), também possui a vantagem de não sofrer problemas de danos associados à aplicação de outras células piezométricas. Em outras palavras, ele traz uma eficiência quanto à precisão e tempo da medição caracterizado pelo tipo membrana, e ao mesmo tempo é mais robusto em comparação aos demais desse tipo.

**Figura 12 - Esquema e Detalhamento do Piezômetro Pneumático.**

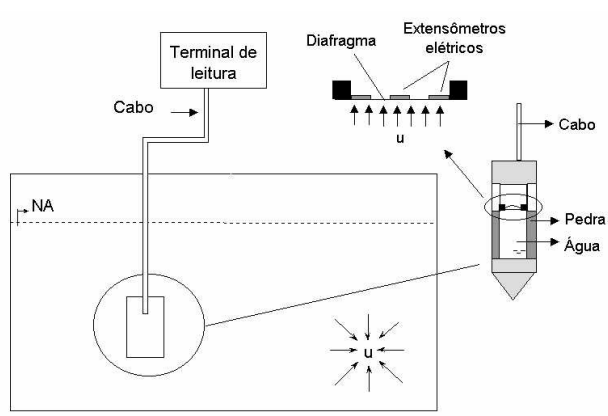


Fonte: FONSECA (2003).

#### D. Piezômetros Elétricos:

Também classificado como um piezômetro do tipo membrana, trazendo assim as vantagens previamente descritas e com menor tempo de resposta em relação ao pneumático. Todavia apresenta um elevado custo, uma vez que não há recuperação do equipamento quando este sofre danos além de ser susceptível a avarias devido a centelhamento.

**Figura 13 - Esquema do Piezômetro Elétrico.**

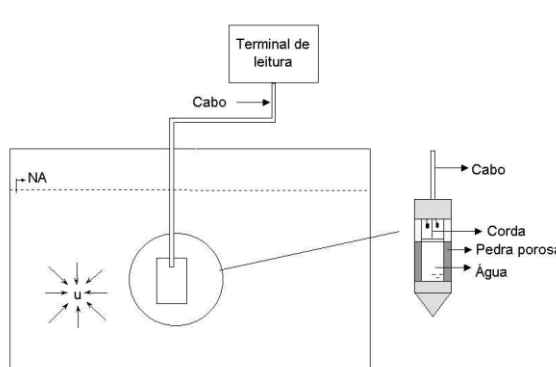


Fonte: FONSECA (2003).

#### E. Piezômetros de Corda Vibrante:

Por apresentar trabalhabilidade com volume quase constante, a resposta desses instrumentos é praticamente instantânea, mesmo em solos de permeabilidade muito baixa. Todavia, os dispositivos elétricos associados a esse tipo de piezômetro são muito sensíveis, ou seja, as interferências eletromagnéticas de qualquer natureza tem influência na medição.

**Figura 14 - Esquema do Piezômetro de Corda Vibrante.**



Fonte: FONSECA (2003).

### 2.3.1.2 Medidor de infiltração e vazamento

De acordo com MASSAD (2003), a capacidade de retenção de água de qualquer barragem tem sua importância não apenas para salvar a valiosa água armazenada, mas também observar quaisquer ameaças à estabilidade da barragem causada por infiltração ou vazamento através dele ou de sua fundação. A infiltração e o vazamento através de uma barragem não devem ser grandes o suficiente para corroer e / ou carrear o material de dentro do corpo da barragem.

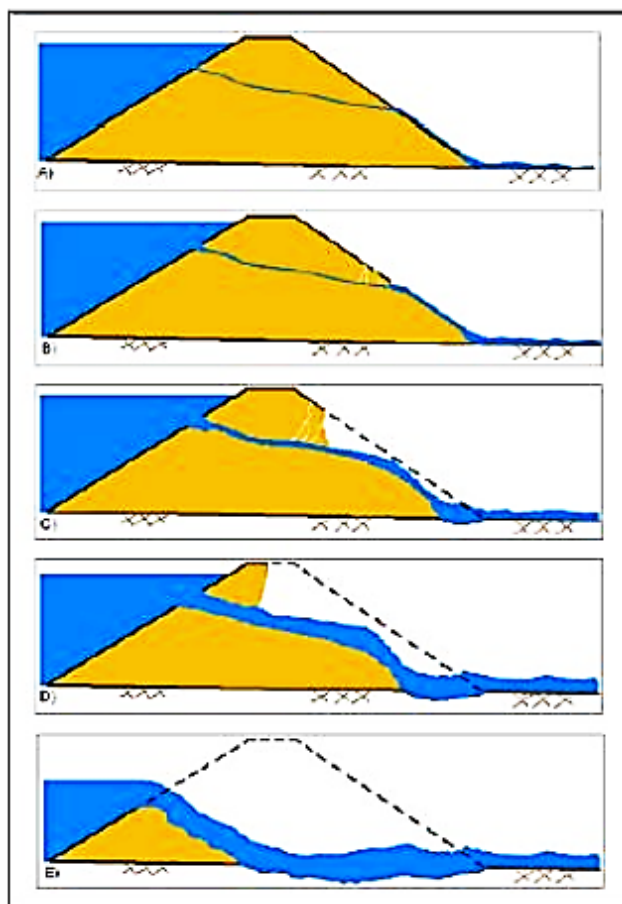
Essa erosão interna pode causar solapamento ou criar dutos de fluxo de água preferenciais em barragens de aterro e perda de resistência ou densidade do material em barragens de concreto e alvenaria. A infiltração e o vazamento são comumente medidos com açudes, calhas Parshall e recipientes calibrados. Outros tipos de dispositivos de medição de fluxo, como medidores de fluxo pode ser apropriado, em circunstâncias especiais (JANSEN, 1983).

Quando houver qualquer mudança na infiltração e / ou vazamento, o volume não relacionado ao nível do reservatório deve ser avaliado imediatamente e mudanças rápidas na infiltração e vazamento relacionados ao nível do reservatório também devem ser investigado. Um aumento na infiltração e / ou vazamento pode ser uma indicação de criação de dutos. Uma diminuição na infiltração e / ou vazamento pode indicar drenos entupidos (LEÃO, 2012).

Uma diminuição na infiltração também pode indicar que a infiltração está aumentando em um local diferente daquele que está sendo medido, o que pode levar à formação de dutos. A presença de água nebulosa ou turva pode indicar retroerosão, que pode levar, conforme a representação da Figura 15, ao rompimento da barragem. Novas infiltrações e / ou vazamentos também podem ser indicadores de desenvolvimento de problemas. (LARA, 2016).

As medições da qualidade da água podem fornecer dados sobre a fonte de infiltração ou tubulação e na dissolução da rocha fundamental. Medições comuns de qualidade da água incluem: o valor de pH, temperatura, condutividade, sólidos totais dissolvidos, total sólidos em suspensão, e variedade de minerais presentes na infiltração de água, como sódio, potássio, carbonato, bicarbonato, sulfato e cloreto (FONSECA, 2003).

**Figura 15 - Representação do Processo de Retroerosão (Piping).**



Fonte: LARA (2016) apud USACE (2014)

### 2.3.1.3 Medidores de deslocamentos

Ao avaliar o desempenho e a segurança de uma barragem, é essencial que os deslocamentos sejam cuidadosamente observados. Isso é especialmente verdadeiro para barragens de concreto e alvenaria, onde mesmo pequenas mudanças de posição podem levar a consequências graves.

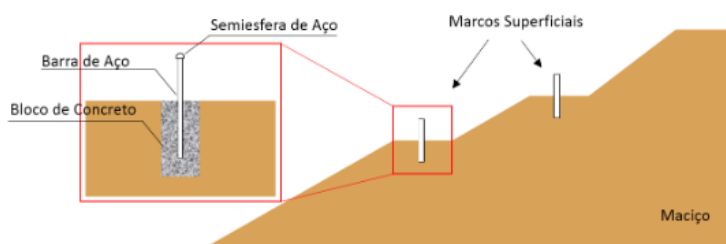
Segundo Fonseca (2003), os deslocamentos normalmente verificados são:

I. Deslocamentos verticais: verificados ao longo de uma seção paralela ou longitudinal ao eixo da barragem, são essenciais para que a partir da extrapolação das curvas de recalques, quantifique-se os recalques finais e tempos de estabilização;

Quanto aos instrumentos utilizados para medição de deslocamentos verticais tem-se:

A. Marcos de Deslocamento Superficial: Os marcos são executados sob blocos de concreto, tendo em sua haste vergalhão de aço e na ponta superior uma semi-esfera, conforme a Figura 16. Para determinar os recalques verticais, sua instalação ocorre ao longo da crista, bermas e taludes a jusante, sendo que a medição ocorre a partir de equipamentos de levantamento topográfico, com referencial em marcos fixos, indeformáveis fora do corpo da barragem. Vale reforçar que os equipamentos topográficos atuais possuem alta precisão, o que traz grande eficácia nesse método de medição.

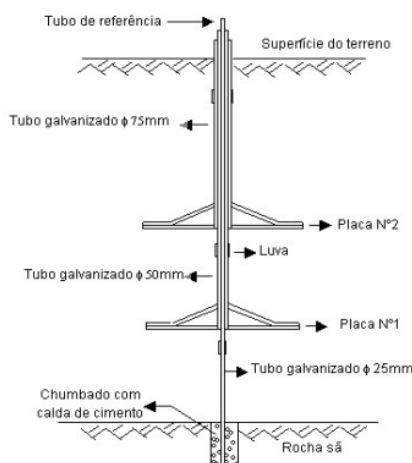
**Figura 16 - Representação dos Marcos de Deslocamento Superficial ao longo do perfil transversal.**



Fonte: SOUZA (2017).

B. Placas de Recalque com Tubos Telescópicos: Conferem a medição mediante placas solidarizadas a hastes ou tubos rígidos concêntricos, sendo os deslocamentos referências para tais medições (Figura 17). A instalação ocorre durante a construção da barragem, uma vez que é alocado tanto nas fundações como ao longo do aterro compactado.

**Figura 17 – Placas de Recalque com Tubos Telescópicos.**

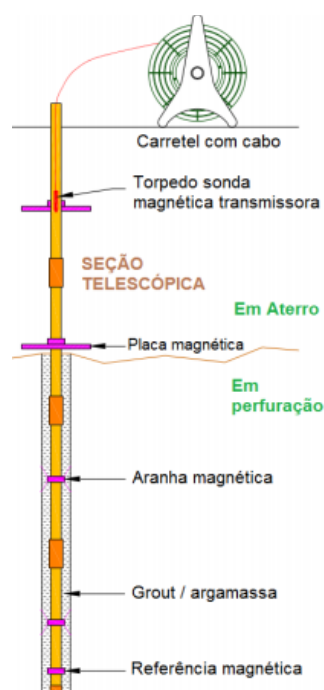


Fonte: FONSECA (2003).

C. Medidores de Recalque Tipo KM: Esse medidores são uma variação das Placas de Recalque com Tubos Telescópicos, sendo constituído de um sistema de hastes conjugadas.

D. Medidores de Recalque Magnéticos: A instalação desse medidor ocorre ao longo do perfil vertical da barragem, sendo alocado anéis magnéticos ao longo de um tubo vertical de PVC rígido, com emendas espaçadas em 1,5 m.

**Figura 18 – Esquema de instalação de Medidor de Recalque Magnético.**



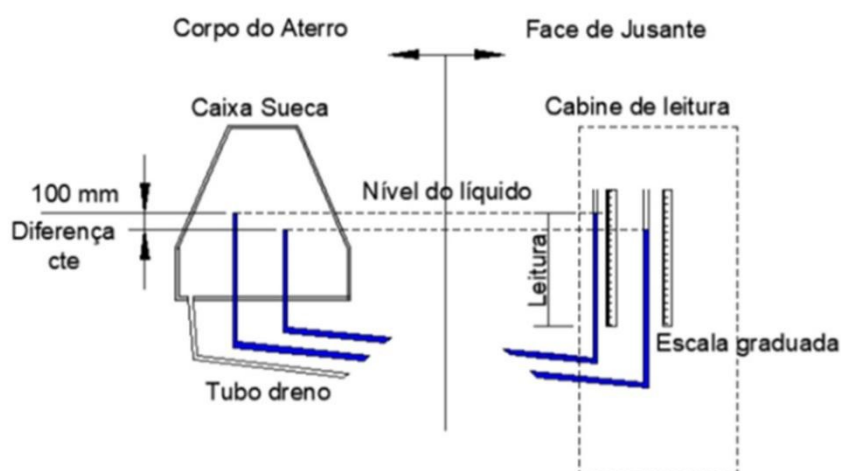
**Fonte: ENCARDIORITE (2016).**

E. Medidores de Recalque Tipo USBR: semelhante ao anterior, a medição ocorre a partir de um sistema torpedo e trena a partir de posições pré-estabelecidas pelo tubo-guia, sendo os elementos de referencias um sistema mecânico de cunhas moveis que se fixam as juntas telescópicas do tubo.

F. Medidores de Recalque Tipo Caixa Sueca: A medição ocorre a partir de célula metálica ou de PVC inserida em uma caixa de concreto, sendo que essa célula possui 2 tubos conectados e a medição de recalques, como observado na Figura 19, ocorre a partir do principio de vasos comunicantes.



**Figura 19 – Representação de Medidor de Recalque Tipo Caixa Sueca**

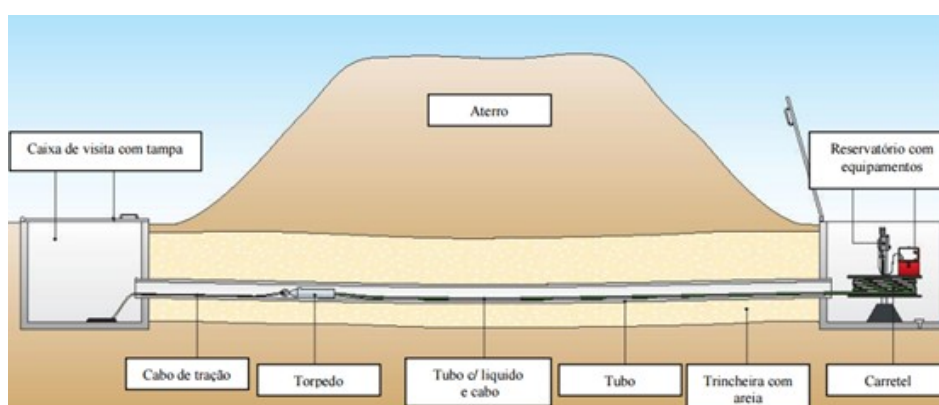


Fonte: YTA Y YBY (2020).

G. Medidores Pneumáticos Tipo Hall: a medição ocorre a partir de um processo pneumático, constituído de um transdutor interno à barragem, conetado com medidores externos de pressões, sendo elas determinadas a partir do equilíbrio de pressão da água exercida por um coluna de água sob o gás introduzido no sistema.

H. Perfilômetros de Recalques: Tubo de PVC alocado ao longo do perfil horizontal ou sub-horizontal da barragem (Figura 20), sendo o princípio de medição dos vasos comunicantes, e, possibilitando a medição de recalques em diferentes seções ao longo da barragem.

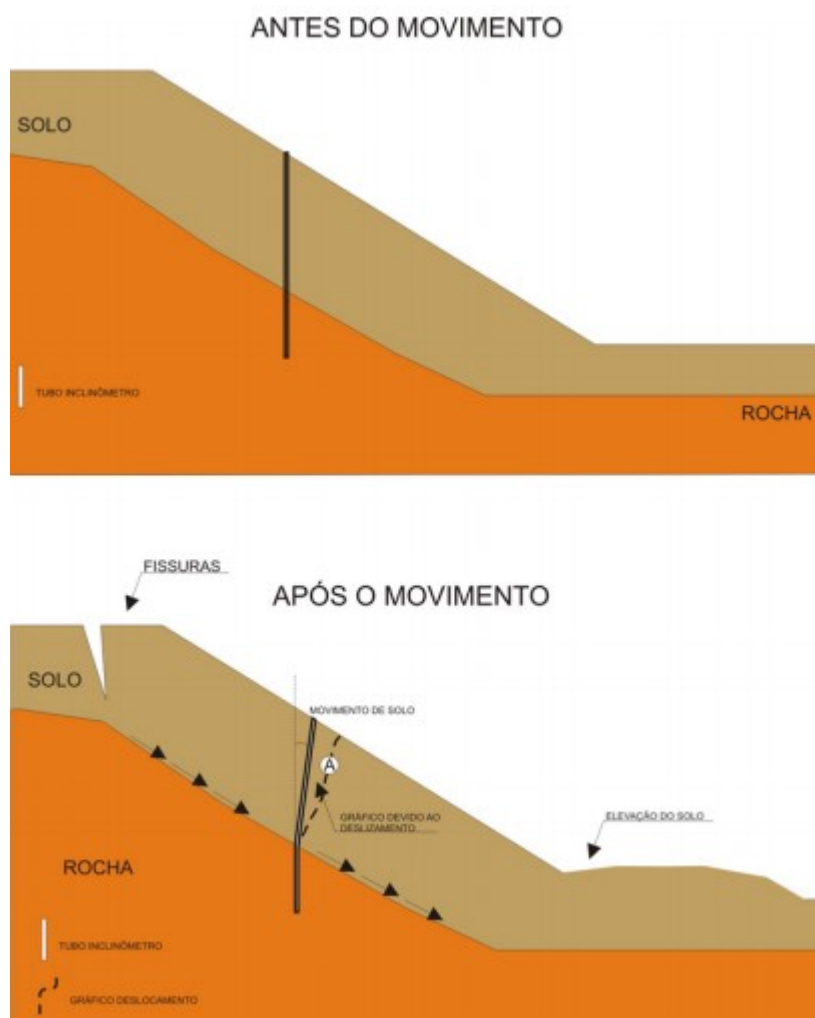
**Figura 20 – Perfilômetro de Recalque.**



Fonte: COMMETRO(2021)

I. Inclínômetros de Recalques: podem ser instalados na horizontal, num plano inclinado ou na vertical, sendo o funcionamento dado a partir de um tubo-gui que contem emendas de luvas telescópicas, contendo 4 rebites por seção. A partir da verificação da existencia de rompimento dos rebites, verificasse a presença de deformação por solicitação do aterro (Figura 21).

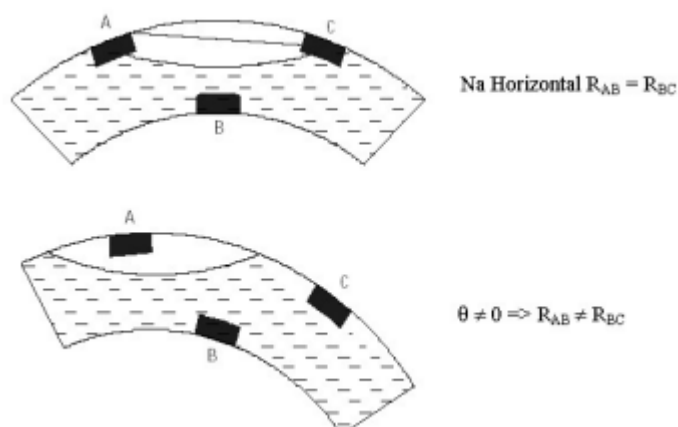
**Figura 21 – Inclínômetro de Recalques.**



Fonte: CASTRO et al (2008).

J. Eletrônívéis: a medição ocorre a partir de um sistema resistivo de medição, sendo alocados pelo corpo da barragem, e, mediante a variação de resistencia entre dois trechos conforme exemplificado pela Figura 22.

**Figura 22 – Sensores Eletrolíticos.**



Fonte: FONSECA (2003).

II. Deslocamentos horizontais: são essenciais para o controle sistemático dos rebaixamentos periódicos previstos em projeto, principalmente no caso da execução de aterros com solos com umidades superiores à ótima;

Quanto aos instrumentos utilizados para medição de deslocamentos horizontais tem-se:

A. Marcos de Deslocamento Superficial: Da mesma forma como os Marcos de Deslocamento Superficial em Deslocamentos Verticais, com a única especificação a distribuição ocorre ao longo de um perfil horizontal da barragem, como por exemplo, na crista da barragem, sendo que se esses marcos forem dispostos de maneira mais abrangente, pode-se obter inclusive, uma superfície de deslocamento ao longo de todo o corpo da barragem.

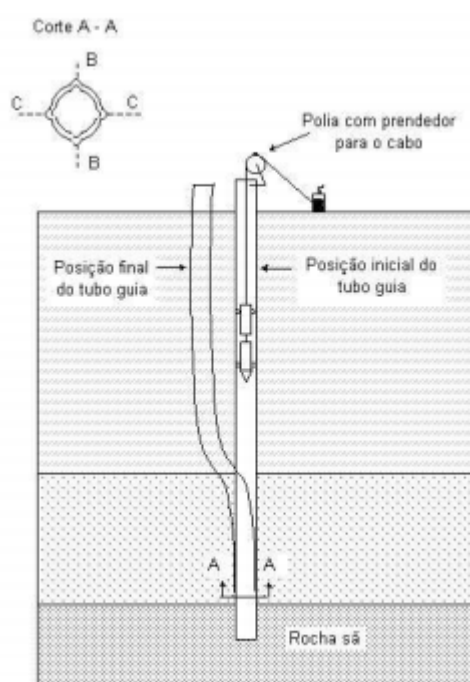
B. Extensômetros de Hastes: Placas de aço são dispostas ao longo do perfil horizontal e conectadas a hastes capazes de se movimentar livremente, sendo a medição efetuada a partir das extremidades externas das hastes de conexão.

C. Medidores Magnéticos: através da fixação de placas quadradas com ímãs, ao longo de um tubo de acesso de PVC rígido ao longo do perfil vertical do maciço, sendo a medição conferida a partir do conjunto sonda

eletromagnética, trena e alarme em superfície, contendo os deslocamentos das placas internas, um referencial externo à barragem, indeformável.

D. Inclínômetros Horizontais: um torpedo é inserido no tubo guia alocado de forma vertical na barragem (Figura 23), e ocorre as leituras de forma ascendente, de forma a obter a integração dos deslocamentos relativos a um ponto de profundidade.

**Figura 23 – Inclínômetro Instalado na Vertical.**



**Fonte: FONSECA (2003).**

Dos instrumentos citados anteriormente por Fonseca (2003), evidencia-se os marcos de deslocamento superficial (MDS) pela sua versatilidade, custo e precisão, uma vez que eles servem para medição dos dois tipos de deslocamentos, e também, os medidores de recalque com tubos telescópicos (MRTT) que são os mais utilizados em barragens brasileiras, sendo instalados nas fundações e no corpo do aterro compactado.

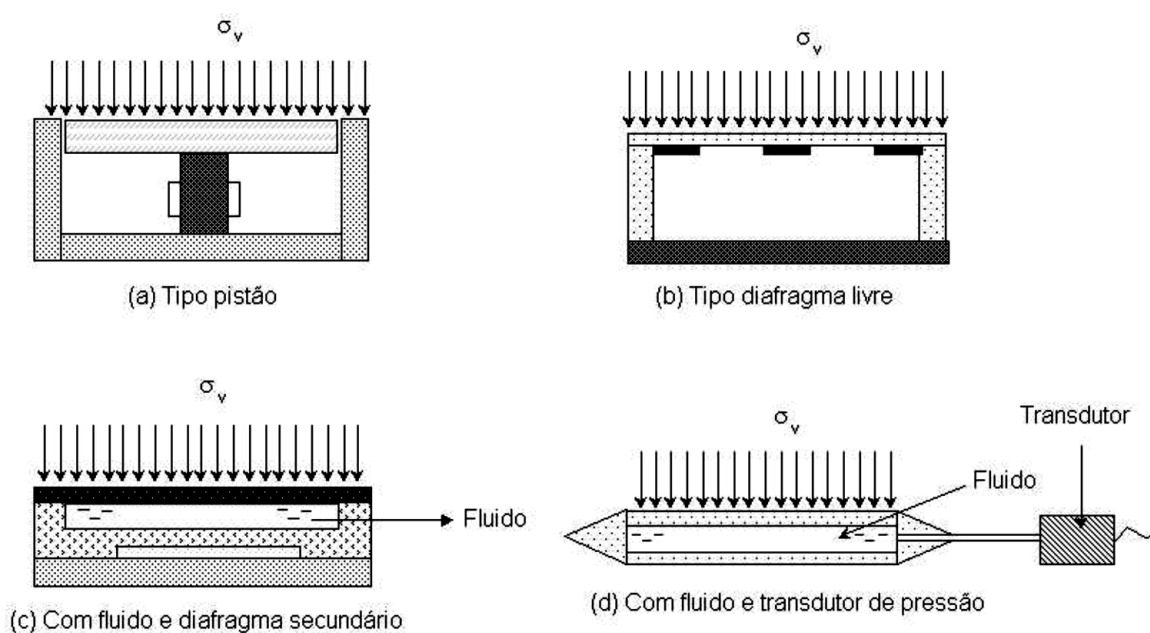
#### 2.3.1.4 Medidores de tensão

As tensões reais dentro de uma barragem que resultam de cargas externas podem não corresponder sempre com aqueles calculados no projeto. Por isso, é

importante encontrar tensões reais em uma barragem concluída para verificar as premissas do projeto e fornecer dados para futuras melhorias de projeto (ZUFFO, 2005).

Tensões do solo dentro de barragens, no entanto, não podem ser determinadas diretamente, mas apenas indiretamente, medindo as pressões na estrutura ou as reações entre as estrutura e elementos de suporte fora da estrutura. Essas pressões do solo podem ser medidas diretamente por meio de células de tensões totais, sendo as quatro principais representadas na Figura 24 (FONSECA, 2003).

**Figura 24 - Tipos Mais Comuns de Células de Tensões Utilizadas em Solos.**



**Fonte: FONSECA (2003)**

Células de medição de pressão total são usadas para medir as tensões reais em locais selecionados, como dentro do corpo da barragem, entre uma barragem e seus pilares ou fundação, ou entre certos componentes da barragem. Vários tipos de dispositivos são usados para medir a pressão estática total em uma barragem (FONSECA, 2003).

### 2.3.1.5 Medidores de temperatura

As medições de temperatura de uma barragem envolvem o corpo da barragem, sua fundação e também, as condições ambientais do seu entorno. Estas leituras são

usadas para reduzir a necessidade de dados de outros instrumentos, aumentar a precisão ou interpretar possíveis ocorrências. Por exemplo, movimentos de barragens de concreto e mudanças no vazamento em barragens de concreto são frequentemente relacionadas a mudanças de temperatura (MAKEN; LÉGER; ROTH. 2013).

A temperatura também é medida em barragens de concreto em construção para avaliar a mistura do concreto, taxas de colocação e tamanhos de bloco e elevação; para cronometrar o rejuntamento de juntas de bloco; e para avaliar cargas térmicas. Durante a operação da barragem de concreto, a luz solar quente na face à jusante gera tensão que pode resultar em tensão diferencial entre a face à jusante e a face mais fria à montante que está principalmente abaixo da água (MAKEN; LÉGER; ROTH. 2013).

Por outro lado, durante o inverno, a água relativamente quente na face à montante pode causar tensões diferenciais versus a face à jusante que pode ser exposta a uma temperatura de ar muito fria. Para monitorar estes eventos, podem ser usados termômetros de resistência ou termopares com o objetivo de medir as temperaturas de uma barragem, sua fundação e outros instrumentos. Os termômetros resistentes operam com base no princípio de mudança de resistência em um cobre fio conforme a temperatura muda (MAKEN; LÉGER; ROTH. 2013).

**Figura 25 - Termômetro de Resistência.**



**Fonte: MOURA (2005).**

### 2.3.2 Avanços Tecnológicos

O monitoramento de barragens sempre esteve exercendo um papel-chave devido ao alto impacto e alto risco relacionadas com este tipo de infraestruturas civis. A complexidade das barragens exige o uso de múltiplos sensores, cada um deles focando em uma área diferente da estrutura, tanto elementos estruturais quanto não estruturais, e em diferentes processos (FONSECA, 2003).

Com o avanço tecnológico, diversas metodologias de medição podem ser aplicadas no processo de auscultação de barragens. Na sequência são apresentadas algumas dessas metodologias.

#### 2.3.2.1 Sistema de aquisição e transmissão automática de dados (SATAD)

A necessidade quanto à rápida coleta dos dados de medição dos instrumentos de barragens viabiliza o uso do SATAD, uma vez que essa metodologia busca incorporar, mediante diversas técnicas e tecnologias, a transmissão em sistema integrado os dados de medição de instrumentos eletrônicos.

De acordo com Silva (2019), o SATAD é um sistema completo de transmissão integrada dos dados gerados pelos instrumentos eletrônicos de medição previamente apresentados. O sistema basicamente conta com dataloggers, que são os equipamentos responsáveis por receber a informação dos instrumentos eletrônicos, e através de microcontroladores, processar essa informação em um nível básico, como por exemplo, fazendo conversões de medição ou cálculos simples.

**Figura 26 – Datalogger Utilizado em Sistemas de Automação de Barragens.**



Fonte: SILVA (2019) apud SOLITECH (2019).

Após a coleta e processamento primário dos dados, deve-se então transmiti-los mediante um canal de comunicação Ethernet ou WiFi, sendo que a forma de transmissão será regida por protocolos de redes.

Uma vez que os dados chegam até o centro de controle, programas específicos servem para processar as informações primárias, e, a partir delas isoladas ou em correlação, alertar a equipe operacional quanto a necessidade de uma possível inspeção de campo, ou mesmo a existência de um risco quanto à estabilidade da barragem (SILVA, 2019).

### 2.3.2.2 Dispositivos para varredura a laser terrestre

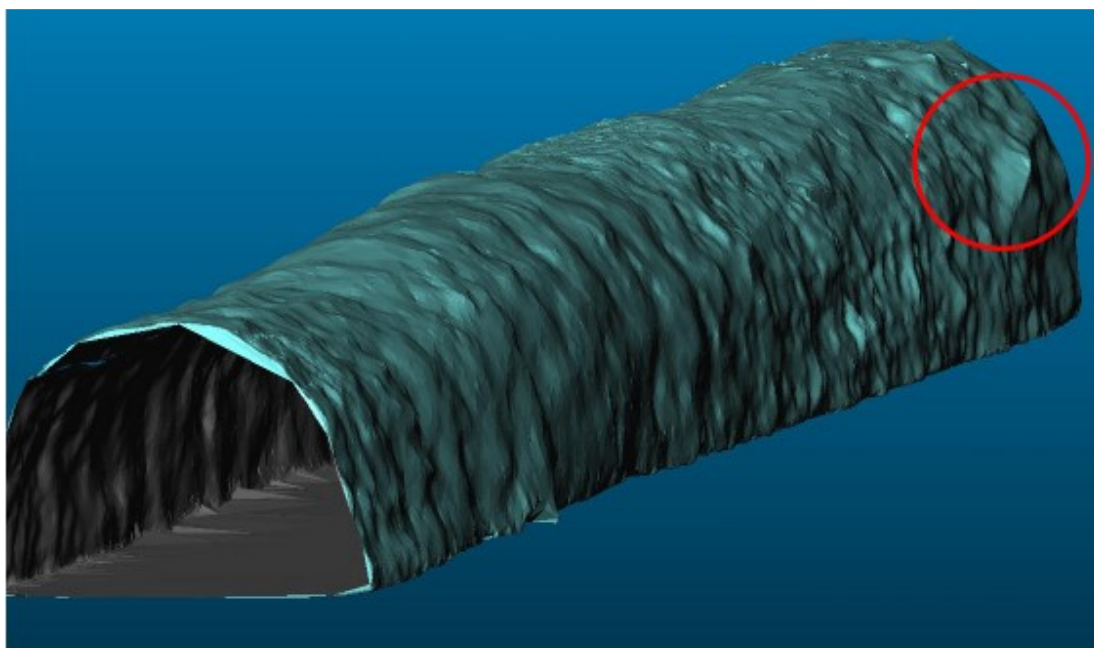
Segundo Gonçalves (2007), a varredura a laser terrestre pode diretamente fornecer dados 3D de alta densidade e informações, como intensidade e cores RGB. Embora sua precisão de medição de ponto único seja inferior ao de um teodolito, os métodos de detecção de mudança de posicionamento podem potencialmente serem beneficiados com o grande volume de dados. Com base nessas características, essa tecnologia traz uma interessante abordagem para modelar e analisar possíveis deformações de objetos.

O desafio é identificar e, se necessário, parametrizar conjuntos de pontos pertencente ao mesmo objeto em nuvem de pontos, uma vez que o processo de digitalização não pode se repetir à medição de pontos com a mesma precisão de localizações. Uma revisão completa deste assunto é relatada em Lindenbergh & Pietrzyk (2015). Em aplicações reais, diferentes metodologias foram investigadas para detectar e parametrizar a deformação das superfícies do objeto.

Gonçales (2007) demonstrou aplicações completas na área de túneis e por fim modelou um projeto 3D buscando quantificar a precisão do mesmo (Figura 27 e 28).

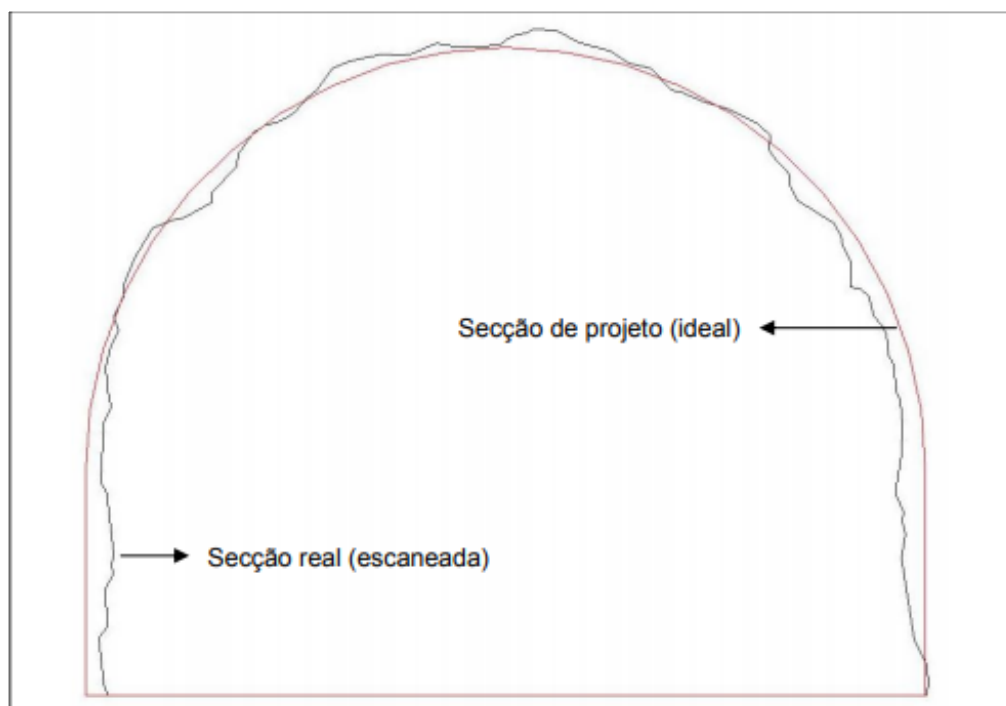


Figura 27 - Modelagem 3D.



Fonte: GONÇALES (2007).

Figura 28 - Comparação de Seção Transversal da Modelagem 3D com o Projeto (CAD 2D).

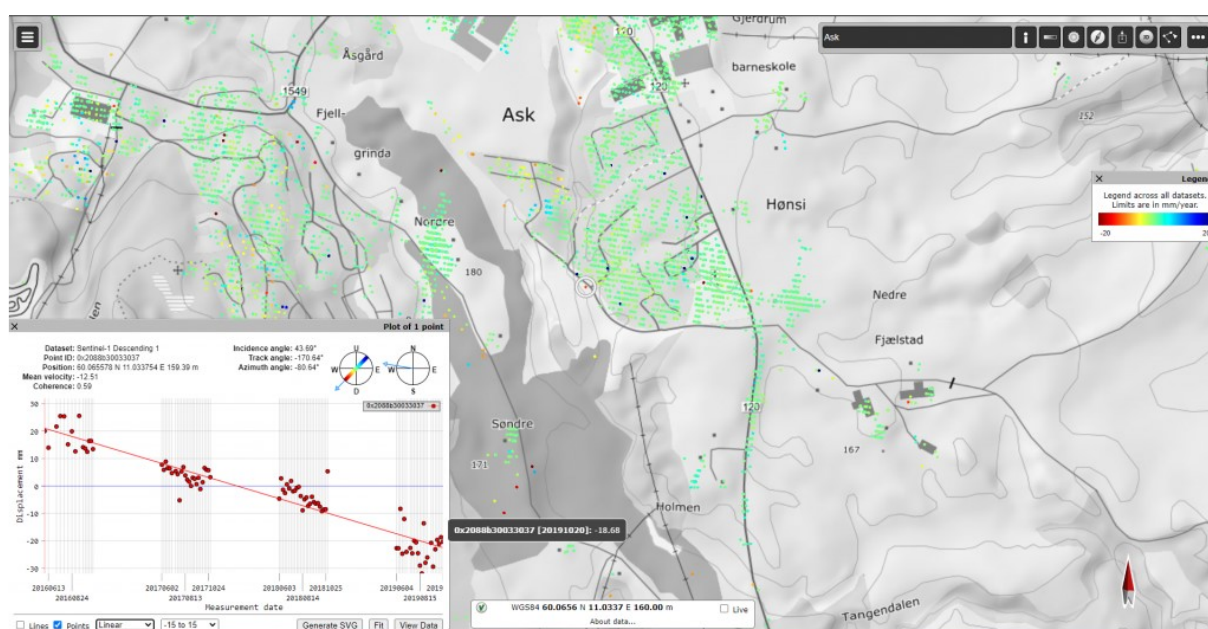


Fonte: GONÇALES (2007).

### 2.3.2.3 Interferometria por radar de abertura sintética (InSAR)

Segundo Alves et al. (2009), essa técnica busca medir a superfície topográfica em alta resolução, assim como suas mudanças no tempo, sendo uma alternativa às técnicas convencionais fotogramétricas. Sua medição ocorre a partir dos sinais de duas antenas SAR localizadas em posições distintas, ou por uma única em época e posição diferentes.

**Figura 29 – Dados de Monitoramento por InSAR na Noruega.**



**Fonte: SANTOS (2021) apud InSAR Norway.**

### 2.3.2.4 Sistema global de navegação por satélite (GNSS)

O GNSS de acordo com Casaca et. al. (2008), é descrito como um conjunto de equipamentos capaz de receber simultaneamente os dados emitidos por diferentes sistemas bem como as aplicações capazes de realizar o processamento conjunto de toda a informação registrada. No caso em que as coordenadas são obtidas em relação a um receptor GNSS de referência e o processamento é efetuado com base em dados emitidos por satélites, obtém-se precisão milimétrica, as quais são essenciais em relação ao monitoramento de barragens.

## 2.4 SEGURANÇA DE BARRAGENS

### 2.4.1 Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)

No Brasil, a Política Nacional de Segurança de Barragens advém da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que teve recentemente algumas alterações, dadas pela Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.

Em relação às disposições gerais dadas pelo Art. 1º e o Art. 2º da Lei nº 12.334, já incluindo as modificações da Lei nº 14.066 temos o seguinte:

Art. 1º Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).  
Parágrafo único. Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

- I - altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros;
- II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m<sup>3</sup> (três milhões de metros cúbicos);
- III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV - categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º desta Lei;
- V - categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no art. 7º desta Lei.

Art. 2º Para os efeitos desta Lei, são estabelecidas as seguintes definições:

- I - barragem: qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas;
- II - reservatório: acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos;
- III - segurança de barragem: condição que vise a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente;
- IV - empreendedor: pessoa física ou jurídica que detenha outorga, licença, registro, concessão, autorização ou outro ato que lhe confira direito de operação da barragem e do respectivo reservatório, ou, subsidiariamente, aquele com direito real sobre as terras onde a barragem se localize, se não houver quem os explore oficialmente;
- V - órgão fiscalizador: autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização da segurança da barragem de sua competência;
- VI - gestão de risco: ações de caráter normativo, bem como aplicação de medidas para prevenção, controle e mitigação de riscos;
- VII - dano potencial associado à barragem: dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais;
- VIII - categoria de risco: classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre;

IX - zona de autossalvamento (ZAS): trecho do vale a jusante da barragem em que não haja tempo suficiente para intervenção da autoridade competente em situação de emergência, conforme mapa de inundação;

X - zona de segurança secundária (ZSS): trecho constante do mapa de inundação não definido como ZAS;

XI - mapa de inundação: produto do estudo de inundação que compreende a delimitação geográfica georreferenciada das áreas potencialmente afetadas por eventual vazamento ou ruptura da barragem e seus possíveis cenários associados e que objetiva facilitar a notificação eficiente e a evacuação de áreas afetadas por essa situação;

XII - acidente: comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo do reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa;

XIII - incidente: ocorrência que afeta o comportamento da barragem ou de estrutura anexa que, se não controlada, pode causar um acidente;

XIV - desastre: resultado de evento adverso, de origem natural ou induzido pela ação humana, sobre ecossistemas e populações vulneráveis, que causa significativos danos humanos, materiais ou ambientais e prejuízos econômicos e sociais;

XV - barragem descaracterizada: aquela que não opera como estrutura de contenção de sedimentos ou rejeitos, não possuindo características de barragem, e que se destina a outra finalidade.

Art. 2º-A. Fica proibida a construção ou o alteamento de barragem de mineração pelo método a montante.

§ 1º Entende-se por alteamento a montante a metodologia construtiva de barragem em que os diques de contenção se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento previamente lançado e depositado.

§ 2º O empreendedor deve concluir a descaracterização da barragem construída ou alteada pelo método a montante até 25 de fevereiro de 2022, considerada a solução técnica exigida pela entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária e pela autoridade licenciadora do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama).

§ 3º A entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária pode prorrogar o prazo previsto no § 2º deste artigo em razão da inviabilidade técnica para a execução da descaracterização da barragem no período previsto, desde que a decisão, para cada estrutura, seja referendada pela autoridade licenciadora do Sisnama.

É importante destacar que o complemento da Lei nº 14.066 de 2020 alterou alguns pontos do Art. 1º da Lei nº 12.334, de 2010. Esse complemento teve o propósito de modificar conceitos específicos, além de incluir o quinto item apresentado anteriormente. Desta forma, foi possível aumentar a abrangência da lei, levando em conta existência de barragens que não estavam englobadas nos 4 primeiros itens, todavia com alto risco de rompimento.

Da mesma forma, o Art. 2º da Lei nº 12.334, de 2010 teve um grande acréscimo com a Lei nº 14.066. Nesse Art. foram estabelecidas algumas definições importantes. Em 2010, a lei 12.334 se limitava a 7 definições de barragens, que mudaram para 15, na lei 12.066, sendo as principais modificações, em resumo:

- Definição de empreendedor, levando em conta que o responsável direto pela barragem, será aquele que a princípio explore oficialmente os benefícios da barragens, e, em segunda instância, aquele que detém o direito real sobre a terra;
- Estabeleceu que o dano potencial associado independe da probabilidade de ocorrência dos danos devido ao rompimento, definindo também, que os danos são diretamente relacionados com as perdas humanas, impactos economicos, sociais e ambientais;
- Categoria de risco foi adicionado à definições, sendo esse aspecto muito importante, pois ele já fazia parte da Lei nº 12.334 como critério de classificação;
- Proibição de construção ou o alteamento pelo método a montante, de barragens de mineração, impondo inclusive, a descaracterização das ja existentes a´te 25 de fevereiro de 2022.

Com relação aos objetivos descritos pelo Art. 3º, temos que são os seguintes:

Art. 3º São objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a fomentar a prevenção e a reduzir a possibilidade de acidente ou desastre e suas consequências;

II - regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação, descaracterização e usos futuros de barragens;

III - promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;

IV - criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

V - coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;

VI - estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;

VII - fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.

VIII - definir procedimentos emergenciais e fomentar a atuação conjunta de empreendedores, fiscalizadores e órgãos de proteção e defesa civil em caso de incidente, acidente ou desastre.

Quanto as alterações do Art. 3º, o primeiro objetivo da Lei nº 12.334, era dado por: “garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências;”, sendo modificado pela Lei nº 14.066, onde é implementado na redação do texto o conceito de “prevenção” quanto à possibilidade de acidentes ou desastres, além de incluir a necessidade

quanto à definição dos procedimentos emergenciais em caso de incidente, acidente ou desastre.

Quanto a classificação das barragens descritas na Lei nº 12.334, o Art. 7º define da seguinte forma:

Art. 7º As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

§ 1º A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, dos métodos construtivos, do estado de conservação e da idade do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, bem como de outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador.

§ 2º A classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

§ 3º O órgão fiscalizador deverá exigir do empreendedor a adoção de medidas que levem à redução da categoria de risco da barragem.

A Lei de 2020 apresenta nesse Art. 7º, a inclusão da responsabilidade do empreendedor na adoção de medidas que busquem “diminuir” essa classificação, além de estabelecer uma abrangência maior quanto ao que se deve analisar para definir o risco potencial. Anteriormente, os critérios eram restritos a características técnicas, estado de conservação e regularidade ao Plano de Segurança de Barragens. A Lei mais recente, inclui os métodos construtivos, a idade do empreendimento, e também, abre precedente para que cada órgão regulamentador estabeleça critérios de acordo com as suas necessidades.

A fim de garantir a segurança, essa Lei estabelece a obrigatoriedade da confecção de um Plano de Segurança de Barragens, a fim de garantir a correta adequação do empreendimento com a Lei vigente, sendo os requisitos necessários para a elaboração, definidos do Art. 8º ao Art. 12º, apresentados a seguir:

Art. 8º O Plano de Segurança da Barragem deve compreender, no mínimo, as seguintes informações:

I - identificação do empreendedor;

II - dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;

III - estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;

- IV - manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;
- V - regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- VI - indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;
- VII - Plano de Ação de Emergência (PAE), exigido conforme o art. 11 desta Lei;
- VIII - relatórios das inspeções de segurança regular e especial;
- IX - revisões periódicas de segurança.
- X - identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e dos cenários possíveis de acidente ou desastre;
- XI - mapa de inundação, considerado o pior cenário identificado;
- XII - identificação e dados técnicos das estruturas, das instalações e dos equipamentos de monitoramento da barragem.

§ 1º A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos planos de segurança deverão ser estabelecidos pelo órgão fiscalizador.

§ 2º As exigências indicadas nas inspeções de segurança regular e especial da barragem devem ser contempladas nas atualizações do Plano de Segurança da Barragem.

§ 3º O empreendedor deve manter o Plano de Segurança da Barragem atualizado e operacional até a desativação ou a descaracterização da estrutura.

§ 4º O Plano de Segurança da Barragem deve estar disponível e acessível, antes do início da operação da estrutura, para a equipe responsável pela operação e gestão da barragem no local do empreendimento e para o órgão fiscalizador, bem como ser inserido no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

§ 5º O Plano de Segurança da Barragem deve ser elaborado e assinado por responsável técnico com registro no respectivo conselho profissional, bem como incluir manifestação de ciência por parte do empreendedor, no caso de pessoa física, ou do titular do cargo de maior hierarquia na estrutura da pessoa jurídica.

Art. 9º As inspeções de segurança regular e especial terão a sua periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento definidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

§ 1º A inspeção de segurança regular será efetuada pela própria equipe de segurança da barragem, devendo o relatório resultante estar disponível ao órgão fiscalizador e à sociedade civil.

§ 2º A inspeção de segurança especial será elaborada, conforme orientação do órgão fiscalizador, por equipe multidisciplinar de especialistas, em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, nas fases de construção, operação e desativação, devendo considerar as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

§ 3º Os relatórios resultantes das inspeções de segurança devem indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem.

§ 4º O órgão fiscalizador deverá estabelecer prazo para que o empreendedor cumpra as ações previstas nos relatórios de inspeção de segurança.

Art. 10. Deverá ser realizada Revisão Periódica de Segurança de Barragem com o objetivo de verificar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

§ 1º A periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão periódica de segurança serão estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

§ 2º A Revisão Periódica de Segurança de Barragem deve indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem, compreendendo, para tanto:

I - o exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção;

II - o exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;

III - a análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.

§ 3º O órgão fiscalizador deverá estabelecer prazo para que o empreendedor cumpra as ações previstas na Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

Art. 11. A elaboração do PAE é obrigatória para todas as barragens classificadas como de:

I - médio e alto dano potencial associado; ou

II - alto risco, a critério do órgão fiscalizador.

Parágrafo único. Independentemente da classificação quanto ao dano potencial associado e ao risco, a elaboração do PAE é obrigatória para todas as barragens destinadas à acumulação ou à disposição de rejeitos de mineração.

Art. 12. O PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo contemplar, pelo menos:

I - descrição das instalações da barragem e das possíveis situações de emergência;

II - procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento, de condições potenciais de ruptura da barragem ou de outras ocorrências anormais;

III - procedimentos preventivos e corretivos e ações de resposta às situações emergenciais identificadas nos cenários acidentais;

IV - programas de treinamento e divulgação para os envolvidos e para as comunidades potencialmente afetadas, com a realização de exercícios simulados periódicos;

V - atribuições e responsabilidades dos envolvidos e fluxograma de acionamento;

VI - medidas específicas, em articulação com o poder público, para resgatar atingidos, pessoas e animais, para mitigar impactos ambientais, para assegurar o abastecimento de água potável e para resgatar e salvaguardar o patrimônio cultural;

VII - dimensionamento dos recursos humanos e materiais necessários para resposta ao pior cenário identificado;

VIII - delimitação da Zona de Autossalvamento (ZAS) e da Zona de Segurança Secundária (ZSS), a partir do mapa de inundação referido no inciso XI do caput do art. 8º desta Lei;

IX - levantamento cadastral e mapeamento atualizado da população existente na ZAS, incluindo a identificação de vulnerabilidades sociais;

X - sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem integrado aos procedimentos emergenciais;

XI - plano de comunicação, incluindo contatos dos responsáveis pelo PAE no empreendimento, da prefeitura municipal, dos órgãos de segurança pública e de proteção e defesa civil, das unidades hospitalares mais próximas e das demais entidades envolvidas;

XII - previsão de instalação de sistema sonoro ou de outra solução tecnológica de maior eficácia em situação de alerta ou emergência, com alcance definido pelo órgão fiscalizador;

XIII - planejamento de rotas de fuga e pontos de encontro, com a respectiva sinalização.

§ 1º O PAE deverá estar disponível no site do empreendedor e ser mantido, em meio digital, no SNISB e, em meio físico, no empreendimento, nos órgãos de proteção e defesa civil dos Municípios inseridos no mapa de inundação ou, na inexistência desses órgãos, na prefeitura municipal.

§ 2º O empreendedor deverá, antes do início do primeiro enchimento do reservatório da barragem, elaborar, implementar e operacionalizar o PAE e realizar reuniões



com as comunidades para a apresentação do plano e a execução das medidas preventivas nele previstas, em trabalho conjunto com as prefeituras municipais e os órgãos de proteção e defesa civil.

§ 3º O empreendedor e os órgãos de proteção e defesa civil municipais e estaduais deverão articular-se para promover e operacionalizar os procedimentos emergenciais constantes do PAE.

§ 4º Os órgãos de proteção e defesa civil e os representantes da população da área potencialmente afetada devem ser ouvidos na fase de elaboração do PAE quanto às medidas de segurança e aos procedimentos de evacuação em caso de emergência.

§ 5º O empreendedor deverá, juntamente com os órgãos locais de proteção e defesa civil, realizar, em periodicidade a ser definida pelo órgão fiscalizador, exercício prático de simulação de situação de emergência com a população da área potencialmente afetada por eventual ruptura da barragem.

§ 6º O empreendedor deverá estender os elementos de autoproteção existentes na ZAS aos locais habitados da ZSS nos quais os órgãos de proteção e defesa civil não possam atuar tempestivamente em caso de vazamento ou rompimento da barragem.

§ 7º O PAE deverá ser revisto periodicamente, a critério do órgão fiscalizador, nas seguintes ocasiões:

I - quando o relatório de inspeção ou a Revisão Periódica de Segurança de Barragem assim o recomendar;

II - sempre que a instalação sofrer modificações físicas, operacionais ou organizacionais capazes de influenciar no risco de acidente ou desastre;

III - quando a execução do PAE em exercício simulado, acidente ou desastre indicar a sua necessidade;

IV - em outras situações, a critério do órgão fiscalizador.

§ 8º Em caso de desastre, será instalada sala de situação para encaminhamento das ações de emergência e para comunicação transparente com a sociedade, com participação do empreendedor, de representantes dos órgãos de proteção e defesa civil, da autoridade licenciadora do Sisnama, dos órgãos fiscalizadores e das comunidades e Municípios afetados.

Em resumo o Plano de Segurança de Barragens (PSB), definido anteriormente, define as seguintes obrigações necessárias para garantia da segurança:

- Elaboração do Plano de Ação de Emergência (PAE) para as barragens que possuem dano potencial associado médio ou alto, além de incluir as barragens com alto risco, deixando essa categoria a encargo dos órgãos de fiscalização;
- Elaboração de relatórios de inspeção de segurança regular e especial;
- Manter o PSB atualizado, com um responsável técnico,
- Disponibilizar o PSB durante a construção e operação para a equipe, assim como para os órgãos de fiscalização e regulamentação na base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

- Definir os possíveis cenários de desastres ou acidentes, de acordo com a avaliação de risco, levando em consideração inclusive o mapa de inundação para o pior cenário;
- Detalhar os dados técnicos da estrutura, assim como a definição e instalação dos equipamentos de segurança.

#### 2.4.2 Órgãos Responsáveis pela Fiscalização

Os órgãos responsáveis pela fiscalização de acordo com o PNSB, definidos no Art. 5º de Lei nº 12.334 de 2010 são os órgãos ambientais do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA).

O SISNAMA foi regulamentado a partir do Art 6º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

Nesse art. é estruturado os órgãos que constituirão o SISNAMA da seguinte forma:

Art 6º - Os órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios, bem como as fundações instituídas pelo Poder Público, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, constituirão o Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, assim estruturado:

I - órgão superior: o Conselho de Governo, com a função de assessorar o Presidente da República na formulação da política nacional e nas diretrizes governamentais para o meio ambiente e os recursos ambientais;

II - órgão consultivo e deliberativo: o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), com a finalidade de assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida;

III - órgão central: a Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República, com a finalidade de planejar, coordenar, supervisionar e controlar, como órgão federal, a política nacional e as diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente;

IV - órgãos executores: o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes, com a finalidade de executar e fazer executar a política e as diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente, de acordo com as respectivas competências;

V - Órgãos Seccionais: os órgãos ou entidades estaduais responsáveis pela execução de programas, projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental;

VI - Órgãos Locais: os órgãos ou entidades municipais, responsáveis pelo controle e fiscalização dessas atividades, nas suas respectivas jurisdições;

§ 1º - Os Estados, na esfera de suas competências e nas áreas de sua jurisdição, elaborarão normas supletivas e complementares e padrões relacionados com o meio ambiente, observados os que forem estabelecidos pelo CONAMA.

§ 2º Os Municípios, observadas as normas e os padrões federais e estaduais, também poderão elaborar as normas mencionadas no parágrafo anterior.

§ 3º Os órgãos central, setoriais, seccionais e locais mencionados neste artigo deverão fornecer os resultados das análises efetuadas e sua fundamentação, quando solicitados por pessoa legitimamente interessada.

§ 4º De acordo com a legislação em vigor, é o Poder Executivo autorizado a criar uma Fundação de apoio técnico científico às atividades do IBAMA.

Esta Lei sofreu 3 alterações até o presente momento, sendo:

- Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989;
- Lei nº 8.028, de 12 de abril de 1990;
- Lei nº 12.856, de 2 de setembro de 2013.

Cabe ressaltar que de acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional, à Agência Nacional de Água (que apesar de não mencionado diretamente no Art. 6º, compõe também o SISNAMA), tem as seguintes atribuições:

- Fiscalizar a segurança de barragens de acumulação de água localizadas em rios de domínio da União para as quais emitui ortorga, com exceção daquelas utilizadas para a geração de energia elétrica;
- Organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens;
- Promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens;
- Coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens.

Por sua vez, em relação à articulação dos órgãos fiscalizadores de barragens, a ANA define a lista de entidades fiscalizadoras de Segurança de Barragens por Unidade da Federação em dois grupos (Entidades Efetivas e Entidades Potenciais), separando ainda esses grupos quanto ao âmbito Estadual e Federal. No Quadro 1, tem-se um resumo quanto à relação entre esses grupos e o âmbito Federal bem como o objetivo de cada um desses grupos.

**Quadro 1 – Órgãos Fiscalizadores do Âmbito Federal.**

Entidade	Órgão Fiscalizador	Objetivo
<b>E f e t i v a</b>	Agência Nacional de Águas ANA	Fiscaliza a segurança das barragens de usos múltiplos em rios federais
	Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL	Fiscaliza a segurança das barragens de usinas hidrelétricas
	Agência Nacional de Mineração ANM	Fiscaliza a segurança das barragens de rejeitos de mineração
<b>P o t ê n c i a l</b>	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis IBAMA	Fiscaliza a segurança das barragens de resíduos industriais em rios federais

Fonte: Adaptação de ANA (2021)

Já no Quadro 2, tem-se um resumo quanto à relação entre as duas Entidades (Efetiva e Potencial) no âmbito Estadual de acordo com o UF de cada Estado.

**Quadro 2 – Órgãos Fiscalizadores do Âmbito Estadual**

UF	Órgão Fiscalizador	
	Entidade Efetiva	Entidade Potencial
AC	Instituto de Meio Ambiente do Acre	-
AL	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos	Instituto do Meio Ambiente do Alagoas
AM	Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas	-
AP	Instituto do Meio Ambiente e de Ordenamento Territorial do Estado do Amapá	-
BA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos	-
CE	Secretaria dos Recursos Hídricos	Secretaria do Meio Ambiente do Ceará
DF	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal	Instituto Brasília Ambiental
ES	Agência Estadual de Recursos Hídricos	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
GO	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável	-
MA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão	-
MG	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável	-
MT	Secretaria de Estado do Meio Ambiente	-
MS	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul	-
PA	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade	-
PB	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
PR	Instituto Ambiental do Paraná	Instituto Ambiental do Paraná
PE	Agência Pernambucana de Águas e Clima	Agência Estadual do Meio Ambiente
PI	Secretaria estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos	-
RJ	Instituto Estadual do Ambiente	-
RN	Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente
RO	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental	-
RR	Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos	-
RS	Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
SC	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável	Instituto do Meio Ambiente
SE	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos	Administração Estadual do Meio Ambiente
SP	Departamento de Águas e Energia Elétrica	-
	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo	-
TO	Instituto Natureza de Tocantins	-

Fonte: Adaptação de ANA (2021)

### 2.4.3 Critérios de Inspeção de Barragens

A Lei nº 12.334 de 2010, não define especificamente quais são os critérios necessários para a realização da inspeção em uma barragem, todavia o Plano de Segurança de Barragens definido anteriormente, trata, com a complementação efetuada Lei nº 14.066 de 2020, a necessidade de relatórios de inspeção de segurança regular e especial, sendo a periodicidade definido pelo órgão fiscalizado.

As inspeções devem ser realizadas em conformidade com o risco associado das barragens, sendo definido a partir do órgão fiscalizador, não somente a periodicidade, mas também a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo necessário para a inspeção, além do nível de detalhamento requerido em cada inspeção.

Essas inspeções serão efetuadas por um grupo multidisciplinar, de acordo com a necessidade, sendo compiladas em um relatório que será disponível ao órgão regulamentador e à sociedade civil, devendo nele contemplar a situação atual do empreendimento, além das ações necessárias para a manutenção e garantia de segurança.

Cabe ao órgão fiscalizador a partir desse relatório, definir um prazo para a adequação das medidas evidenciadas pelo grupo de responsáveis técnicos, além da verificação quanto à veracidade dos laudos técnicos de segurança.

As Inspeções regulares, conforme o Art. 13º da Resolução ANA nº 236, de 30 de janeiro de 2017, deveram ocorrer em tempos preestabelecidos de acordo com a categoria de risco e o dano potencial associado, o Quadro 3, demonstra em resumo, a orientação definida pelo ANA.

**Quadro 3 – Periodicidade de Inspeções de Segurança Regulares.**

Dano Potencial Associado	Categoria de Risco		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	Anual	Anual	Anual
Médio	Anual	Anual	Bianual
Baixo	Anual	Bianual	Bianual

**Fonte: Adaptação de ANA (2017)**

Ressalta-se a necessidade também da execução de Revisões Periódicas de Segurança da Barragem, o qual, deverá contemplar a situação atual do empreendimento, bem como, a relação com as características atuais do estado hidrológico e as alterações que possivelmente possam ter ocorridos a montante e à jusante da barragem. É importante destacar a necessidade das comparações do desempenho atual em relação as revisões efetuadas anteriormente, a fim de se garantir que o comportamento real, está de acordo com o previsto, levando em conta assim a estabilidade prevista durante a fase de projeto de obra.

Quanto aos aspectos que devem ser notados, a ANA<sup>2</sup> (2021), no segundo modulo do Guia de Orientações e Formulários para Inspeções de Seguranças de Barragens, define os seguintes itens:

A. Talude de montante.

- Proteção do talude: rip-rap, aspecto geral do material de proteção, imbricamento, escorregamento, deposição de material, desagregação de blocos de rocha etc.
- Erosão: sinais de erosão provocada pelo movimento de água no paramento, observar em especial a transição entre as zonas que normalmente se encontram submersas e as que se encontram acima do nível de água.
- Ocorrência de fissuras no concreto, ferragem do concreto exposta.
- Plinto (barragem de enrocamento com Face de Concreto – BEFCs): fissuração, juntas de construção.
- Vegetação: analisar a existência ou ausência de arbustos ou árvores, sua dimensão e frequência (entendida como tendência em determinada zona), indagar a possibilidade de crescimento anormal em épocas secas, mapear a localização.
- Fraturamento: analisar a fragmentação anormal do material de proteção (blocos) que altere sua granulometria e, portanto, seu poder protetor.
- Buracos causados por animais: sua dimensão, localização e frequência.

B. Talude de jusante

- Sinais de movimento: procurar indicadores de deslizamentos planares ou circulares e de enrugamentos no talude.
- Percolação aparente ou zonas úmidas, particularmente na parte inferior do talude: observar o aparecimento de zonas escuras (coloração característica de material umedecido, vegetação viçosa sem motivo aparente, surgência de água etc.).
- Deslocamentos planares do material de enrocamento.
- Crescimento de vegetação: analisar o tipo de vegetação existente (especialmente devido à profundidade de raízes), considerar em conjunto com o ponto anterior.
- Estado de proteção de talude: verificar o estado da vegetação necessária para garantir a resistência à erosão.
- Existência de árvores e necessidade de remoção.

- Condições de bermas.
- Canaletas de drenagem.
- Buracos causados por animais, cupinzeiros e formigueiros.

#### C. Ombreiras

- Percolação: detectar sinais aparentes de surgências a jusante;
- Fissuras e juntas: distinguir fissuras longitudinais e transversais, sua abertura, afastamento e profundidade (quando possível);
- Deslizamentos: detectar sinais aparentes de deslizamentos recentes e causas possíveis;
- Vegetação;
- Sinais de movimento: considerar movimentos globais não inseridos nos deslizamentos.

#### D. Crista

- Fendilhamento na superfície: analisar as fissuras longitudinais e transversais, aberturas, profundidade e espaçamento.
- Recalques: verificar visualmente o nivelamento dos guarda-corpos, passeios e pavimento na crista.
- Movimentos laterais: os melhores indicadores de movimentos são os postes de iluminação, se existirem, os guarda-corpos laterais e os meios-fios.
- Estado de conservação dos guarda-corpos: os guarda-corpos registram frequentemente os movimentos sofridos, quer por deslizamento de peças simplesmente apoiadas, quer por ruptura de peças rígidas.
- Sobrelevação da crista: apreciação do alteamento da crista definida no projeto para compensar recalques pós-construção.
- Sistema de drenagem e drenos obstruídos.
- Passeio.
- Alinhamento do meio-fio, quando existir.

#### E. Galerias

- Detecção de situações anômalas, designadamente, fissuras no concreto, infiltrações, movimentos de juntas e depósito de materiais, em barragens de concreto.

#### F. Estruturas auxiliares

- Vertedouro (ou sangradouro): ferragem exposta, fissuras no concreto, erosão, depressões, vegetação nas juntas, Reação Álcali-Agregado (RAA).
- Tomada de água: corrosão, fissuras, infiltrações, RAA.
- Comportas: corrosão, água estagnada nos braços, crescimento de vegetação, defeitos de vedação, deficiências dos equipamentos de manobra.
- Canal de aproximação e de restituição: erosão, fissuras.

#### G. Instrumentação

- Estado dos instrumentos de medida instalados na obra.

#### H. Reservatório

- Erosão, assoreamentos, escorregamento dos taludes marginais, vegetação flutuante em excesso, troncos de árvores etc.

Durante a inspeção, o PAE (Plano de Ação de Emergência) é um instrumento importante caso se verifique alguma instabilidade não prevista, pois ele contempla os procedimentos preventivos e corretivos, além das ações de respostas necessárias às situações emergenciais identificadas nos cenários acidentais. Portanto, é de suma importância a elaboração sistêmica desse documento, levando em conta todos os possíveis cenários de acidentes e ruptura, bem como o tempo e recursos necessários de resposta em relação a cada cenário, além da revisão e readequação do PAE ao longo da vida do empreendimento.

#### 2.4.4 Legislação Canadense

Em relação as regulamentações definidas para a segurança de barragens em outros países, destaca-se o Canadá, pois a legislação elaborada pelo Canadian Dam Association (CDA) foi um dos fundamentos para o projeto de Lei nº 1.181, de 2003 (base para Lei nº 12.334 da PNSB) (ZUFFO; GENOVEZ, 2009).

A Legislação Canadense especifica as diretrizes de responsabilidade para todos os aspectos relacionados à segurança. (LEITE, 2019)

Quanto à responsabilidade do controle das barragens, Leite (2019) especifica que o CDA determina as agências reguladoras a manutenção de uma base de dados, contendo os relatórios periódicos fornecidos pelos proprietários. Semelhante aos relatórios de inspeções regulares definidos pelo PNSB, esses relatórios contém todas as medidas corretivas necessárias, sob a responsabilidade técnica de um engenheiro responsável. Assim, à autoridade reguladora, cabe o poder de aceitar ou rejeitar esses relatórios.

A experiência canadense com grandes barragens é satisfatória, uma vez que estão livres de falhas que causaram perdas humanas ou danos em grande proporção (LEITE, 2019).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

Andrade (2013) mostra que a pesquisa é o conjunto de procedimentos sistemáticos, baseado no raciocínio lógico, que tem por objetivo encontrar soluções para problemas propostos, mediante a utilização de métodos científicos. Segundo Ferrão (2013) quanto aos objetivos, a pesquisa divide-se em exploratória, descritiva e explicativa. Analisando os objetivos da pesquisa serão utilizadas as pesquisas exploratórias e descritivas.

Segundo Ferrão (2013), são considerados documentos: os livros, revistas, jornais, Internet, anuários, estatísticos, monografias, mapas, documentos audiovisuais, entre outras fontes, que contém informações fundamentais sobre a proposta do trabalho. As possibilidades de tratamento e análise dos dados depois de coletados, os dados serão analisados e interpretados.

#### 3.2 METODOLOGIA

Trata-se de revisão da literatura, baseando-se na busca de artigos publicados entre 2000 a 2021. As bases de dados utilizadas serão: SCIELO (Scientific Electronic Library Online); Google acadêmico e Portal de periódicos de Capes. Os descritores utilizados para a busca foram: Barragens; Controle; Riscos. Os critérios de inclusão utilizados serão: artigos que respondessem à questão de metodologia de projeto, e os critérios de exclusão foram: editoriais, artigos de revisão da literatura e artigos que não respondessem à questão de outras metodologias proposto por este estudo.

Foi realizado uma pesquisa de levantamento bibliográfico quanto ao assunto de segurança de barragens, sendo a princípio definido os tipos de materiais, tecnologias e técnicas utilizadas durante a construção. Na sequência, os instrumentos acoplados ou utilizados durante a vida útil; delimitação dos casos históricos de rompimento de barragens, associando-os com as instrumentações existentes mediante os laudos técnicos emitidos; verificação do avanço tecnológico nas instrumentações de segurança.

Quanto à abordagem do estudo, tendo em consideração os objetivos definidos, considerou-se mais adequada a adoção de uma metodologia qualitativa. Conforme

Richardson (2019), mostra que vários estudos que empregam assim uma metodologia qualitativa “[...] podem descrever a complexidade de determinado problema, analisar a interação de certas variáveis, compreender e classificar processos dinâmicos vividos por grupos sociais.”

O tipo do estudo abordado é uma revisão bibliográfica. Pesquisas desse tipo tem como objetivo primordial a exposição dos atributos de determinado fenômeno ou afirmação entre suas variáveis (GIL, 2018). Assim, recomenda-se que, este tipo de trabalho apresente características do tipo: analisar a atmosfera como fonte direta dos dados e o pesquisador como um instrumento interruptor; não agenciar o uso de artifícios e métodos estatísticos, tendo como apreensão maior a interpretação de fenômenos e a imputação de resultados, o método deve ser o foco principal para a abordagem e não o resultado ou o fruto, a apreciação dos dados deve ser atingida de forma intuitiva e indutivamente através do pesquisador (GIL, 2018).

## 4 CONCLUSÃO

Pode se concluir que a recomendação do ICOLD (2008), para que todos os componentes de uma barragem sejam monitorados constantemente em uma sala de controle, irá fornecer o suporte técnico para a escolha das melhores alternativas de tecnologias de monitoramento. Com isso, será possível elencar instrumentos de medição se fazem indispensáveis nesse nível gerencial de operação.

O avanço tecnológico tem possibilitado um controle mais otimizado, uma vez que os dados e o processamento quanto a medições, e as interfaces de transmissão de informações estão cada vez mais dinâmicos, trazendo agilidade aos processos e procedimentos necessários para a tomada de decisão.

Verificou-se que os avanços tecnológicos estão relacionados principalmente com a adaptação de instrumentos previamente existentes, com alguma forma de melhoramento, proporcionando menor tempo de resposta e diminuição nas restrições existentes.

Destaca-se os aspectos referentes à transmissão de dados através de equipamentos telemétricos e, além disso, o envio de dados já processados em nuvem diretamente para os escritórios das empresas de monitoramento. Esses procedimentos são fundamentais para o controle e minoração de riscos quanto à ruptura de barragens, uma vez que a velocidade da transmissão desta informação é quase que instantânea.

Um outro aspecto a ser citado seria a necessidade de uma definição mais clara de que parâmetros devam ser verificados para garantir um monitoramento dessas estruturas da melhor forma possível. O que se observa, na legislação atual é que não existe a definição desses parâmetros essenciais e, com isso, pode acarretar de uma empresa responsável por uma barragem citar que está fazendo o monitoramento, porém, essa empresa pode ter escolhido, a seu critério, alguns equipamentos que possam, eventualmente, não fornecer dados relevantes para o monitoramento da segurança de uma barragem.

A escolha dos órgãos que serão responsáveis pela fiscalização e correta adequação da Lei vigente fica a critérios das instâncias executivas que compõem o SISNAMA.

Desta forma, como no Brasil, em sua maioria, as barragens são caracterizadas com fins relacionados aos hídricos, verifica-se o papel relevante da Agência Nacional de Águas (ANA) nesse quesito.

Verifica-se, então, que todos os órgãos apresentados anteriormente nos Quadros 1 e 2 são as últimas instâncias com responsabilidade legal de assegurar a Fiscalização das barragens, e, assim, garantir a implementação do Política Nacional de Segurança de Barragens.

A PNSB, com a readequação proporcionada pela Lei de 2020, possibilitou uma maior abrangência quanto as responsabilidades do empreendedor, além do estabelecimento dos critérios de controle e monitoramento, semelhantemente ao definido pelo CDA, por meio dos relatórios de inspeção que devem ser fiscalizados pelos órgãos regulamentadores.

## REFERÊNCIAS

ALVES, L. N. GALO, M. GALO, M. de L. B. T. **Fundamentos do processamento interferométrico de dados de radar de abertura sintética**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV, Natal, Brasil, 25 – 30 abril 2009.

ANA. **Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens**. Disponível em: < <https://www.snisb.gov.br/>>. Acesso em: 04 de mai. De 2021.

ANA<sup>2</sup>. **Orientações e Formulários para Inspecções de Segurança de Barragens**. Disponível em: <[https://capacitacao.ead.unesp.br/cursosead/pluginfile.php/266127/mod\\_resource/content/4/story\\_html5.html](https://capacitacao.ead.unesp.br/cursosead/pluginfile.php/266127/mod_resource/content/4/story_html5.html)>. Acesso em: 04 de mai. De 2021.

ANDRADE, M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 6 Ed. São Paulo: Atlas, 2013.

ARAÚJO, C. B. O. **Caracterização física e Regionalização de Vazão máxima na Bacia do Rio do Carmo, alto Rio Doce**. Ouro Preta, MG, 2008.

BAPTISTA, M.B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2010. P. 371 – 391.

BOST, M. et al. **Metric Scale Study of the Bonded Concrete-Rock Interface Shear Behaviour**. KSCE Journal of Civil Engineering, 2019, 34p.

BRASIL. Congresso Nacional. Projeto de Lei no 1.181 de 2003. **Estabelece diretrizes para verificação da segurança de barragens de cursos de água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. Congresso Nacional. Projeto de Lei no 12.334 de 2010. **Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Segurança de Barragens**. 2015, Disponível em <<https://www.mma.gov.br/destaques/item/10589-seguran%C3%A7a-de-barragens#:text=De%20acordo%20com%20a%20Pol%C3%ADtica,Minist%C3%A9rio%20de%20Minas%20e%20Energia>>. Acesso em 19 mar. 2021.

CARVALHO, J. de A. **Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 153p.

CASTRO, B. P. F. et al. **Elaboração das Diretrizes para o Monitoramento**. 2008. Disponível em: <[https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/ReabilitacaoAreasUrbanas/Olinda\\_Produto5\\_Elaboracao\\_Diretrizes\\_Monitoramento.p](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/ReabilitacaoAreasUrbanas/Olinda_Produto5_Elaboracao_Diretrizes_Monitoramento.pdf)  
[df](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/ReabilitacaoAreasUrbanas/Olinda_Produto5_Elaboracao_Diretrizes_Monitoramento.pdf)>. Acesso em: 15 de ago. De 2021.

CASTRO, C. N. **Gestão das águas: experiências internacional e brasileira.** Textos para discussão, n. 1477. Brasília: IPEA, 2012.

CBDB - COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. **Apresentação das Barragens.** 2013. Disponível em: < <http://cbdb.org.br/apresentacao-das-barragens> > Acesso em 29 abr. 2021.

COMMETRO. **Recalque - Perfilômetro.** Disponível em: <<http://www.commetro.com.br/instrumento-detalhes/23/recalque--perfilometro>>. Acesso em: 15 de ago. De 2021.

COSTA, W. D. **Geologia de Barragens.** Oficina de Textos, São Paulo, 2012.

ENCARDIORITE. **Sistema Extensômetro Magnético.** 2016. Disponível em: <[http://www.encardiobrasil.com.br/admin/fotos\\_editor/source/EDS-91/Ficheirodedados\\_EDS-91\\_1098-13%20R04.pdf](http://www.encardiobrasil.com.br/admin/fotos_editor/source/EDS-91/Ficheirodedados_EDS-91_1098-13%20R04.pdf)>. Acesso em: 15 de ago. De 2021.

FERRÃO, R. G. **Metodologia científica para iniciantes em pesquisas.** Linhares, ES: Unilineares/ Incaper, 2013.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicação na estabilidade dos taludes.** Curitiba: Editora da UFPR, 2009.

FLIZIKOWSKI, L. C.; PELEGRINO, E. C. F.; MAIA, A. G. **Análise comparativa entre equações de tempo de concentração na Bacia Hidrográfica do Arroio dos Pereiras.** In: Semana de estudos da engenharia ambiental, 6, 2008. Irati.

FONSECA, A. da R. **Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica – estudo de caso das barragens da UHE São Simão.** Ouro Preto: UFOP, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

GONÇALES, R. **Dispositivo de varredura 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis.** São Paulo, 2007.

ICOLD - CIGB. **As barragens e a água do mundo: Um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo.** Tradução Texto Faz Comunicação S/S Ltda. Curitiba: Núcleo regional do Paraná, 2008.

ITAIPU. **BARRAGEM.** Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/barragem>>. Acesso em: 04 de mai. De 2021.

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

LARA, P. G. de. **Metodologia probabilística de previsão de brecha de ruptura de barragens.** Florianópolis, SC, 2016.

LEÃO, F.R. **Dimensionamento de uma pequena barragem de terra para produção de energia hidrelétrica e irrigação em uma propriedade rural.** 2012. 110f.

Monografia para obtenção do título de Bacharel – Engenharia agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2012.

LEITE, S. R. **Modelo para Avaliação de Riscos em Segurança e Barragens com associação de métodos de análise de decisão multicritério e Conjuntos Fuzzy.** Universidade de Brasília, 2019.

CASACA, J. HENRIQUES, M. J. LIMA, J. N. **A utilização do GNSS na barragens de medição de deslocamentos superficiais em aterro.** Congresso Nacional de Geotecnia. Abr. 2008.

LINDENBERGH, R. PIETRZYK, P. **Change detection and deformation analysis using static and mobile laser scanning.** Applied Geomatics. 2015

MAKEN, D. D.; LÉGER, P.; ROTH, S. N. **Seasonal thermal cracking of concrete dams in northern regions.** American Society of Civil Engineers: Journal of Performance of Construct-ed Facilities, v. 28, jun. 2013.

MARCONCIN, L. R. et al. **Monitoring structures with optical fibers: infiltration detection.** An. Acad. Bras. Ciênc., Rio de Janeiro, v. 90, n. 2, p. 1865-1872, Apr. 2018.

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

MOURA, G. M. G. **Determinação de tensões a partir de extensões observadas em barragens de betão.** Tese de mestrado. Estruturas de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2005.

ONU. **World Population Propects 2019: Highlights.** Disponível em <<https://www.un.org/en/desa/world-population-prospects-2019-highlights>>. Acesso em 19 mars. 2021.

ONU. **2018 Revision of Worl Urbanization Propects.** 2018 Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>> Acesso em 19 mar. 2021.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SANTOS, J. P. dos. **InSAR como método eficaz no monitoramento geotécnico.** Instituto Minere, 2021. Disponível em: <<https://institutominere.com.br/blog/insar-monitoramento-geotecnico>> Acesso em 06 mai. 2021.

SANTOS, R. S. P., WANDERLEY LJ. **Dependência de barragem, alternativas tecnológicas e a inação do Estado: repercussões sobre o monitoramento de barragens e o licenciamento do Fundão. Antes fosse mais leve a carga: reflexões sobre o desastre da Samarco / Vale / BHP Billiton.** Marabá: iGuana; 2016. p.87-139.

SERRA C. **Tragédia em Mariana: a história do maior desastre ambiental do Brasil.** Rio de Janeiro: Recorde; 2018.

SILVA, M. F. S. **Sistema de monitoramento online de barragens de mineração.** Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais. 2019

SILVEIRA, J. F. A. **Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento.** Oficina de Textos, São Paulo, 2006.

SOUZA, A. N. de. **Análise do comportamento da barragem engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves -Açu/RN - durante sua construção, primeiro enchimento e operação do reservatório.** Natal: UFRN, 2017.

SOUZA, M. M. de. **Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC.** Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

YTA Y YBY. **Automação de Instrumentação de Barragens. Automação Caixa Sueca.** 2020. Disponível em: <<https://yyyeng.com.br/automacao-de-instrumentacao-de-barragens-inovacao-automacao-caixa-sueca/>>. Acesso em: 15 de ago. De 2021.

ZUFFO, M. S. R. GENOVEZ, A. I. B. **A SEGURANÇA DE BARRAGENS SOB A ÓTICA DE ALGUMAS LEGISLAÇÕES INTERNACIONAIS.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18., 2009, Campo Grande – MS.

ZUFFO, M. S. R. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens / Monica Soares Resio Zuffo.** --Campinas, SP: [s.n.], 2005.