

# ANÁLISE DE ANOMALIAS EM BARRAGENS DA BACIA DO RIO ITAÚNAS

Isabella Fernandes Cardoso<sup>1</sup>, Julia Cossetti<sup>1</sup>, Luisa Morgan Bernardo<sup>1</sup>  
Mirella Gonçalves da Fonseca Miranda da Silva<sup>2</sup>

## RESUMO

As barragens de terra são construções muito comuns no meio rural, principalmente devido a facilidade de construção e viabilidade de custo. Em vista disso, há uma grande quantidade de barragens de acumulação de água feitas de terra no Espírito Santo, utilizadas principalmente para irrigação e usos múltiplos. Geralmente esses barramentos são pequenos e construídos de forma rudimentar, sem realização de projeto, acompanhamento técnico e manutenção adequada, desencadeando riscos de acidentes. Destarte, objetivou-se, para com esse estudo, identificar e analisar as anomalias mais recorrentes em barragens de acumulação de água feitas de terra homogênea, localizadas na região da bacia hidrográfica do Rio Itaúnas no Espírito Santo, desempenhando uma correlação entre as principais anomalias encontradas nas barragens com as características de idade do barramento e tipo de fundação da estrutura. Os dados utilizados neste estudo foram fornecidos pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), e passaram por tratamentos de tabulação e análise gráfica. Os resultados do estudo demonstraram que a presença de vegetação excessiva e/ou de grande porte é a anomalia mais recorrente nas barragens analisadas, presente em 92% dos barramentos apurados. Além disso, demonstrou-se que as fundações de aluvião são mais suscetíveis ao surgimento de anomalias, pois elas apresentaram todas as 12 anomalias averiguadas no estudo, apontando este tipo de fundação como o mais utilizado na região, aparecendo em cerca de 62% das barragens ponderadas. Através do estudo, conclui-se que a possível causa principal das patologias nos barramentos analisados foi a falta de manutenção e de apoio técnico adequado.

Palavras-chave: anomalias; barragens de terra; segurança de barragens; patologias.

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura requer uma extensa demanda hídrica em abundantes partes do Brasil, precisando recorrer ao uso de barragens para acumulação de água para suprir esse consumo, no entanto, o lucro financeiro derivado do agronegócio são raramente suficientes para investir na construção de estruturas caras e tecnologicamente avançadas, por consequência disso, o tipo de barramento predominante no meio rural são barragens pequenas, em sua maioria feitas de terra, devido a sua facilidade de construção e viabilidade de custo (SALINAS, 2017).

Paralelamente, Tanus (2018) diz que, as barragens são definidas como estruturas construídas transversalmente dentro ou fora de cursos d'água permanentes ou temporários, com o propósito de armazenar água, originando um reservatório. Ademais, esses barramentos podem ter várias funções como: irrigação, piscicultura, dessedentação animal, geração de energia elétrica, regularização de vazão, controle de cheias, abastecimento urbano e industrial, aquicultura, navegação, recreação, entre outros usos.

1 - Acadêmico do curso de Engenharia Civil

2 - Professora orientadora docente da Multivix - Vitória

Além disso, existem diferentes critérios utilizados para classificar barragens, geralmente levando em consideração a finalidade, função, tipo de estrutura e material de construção utilizado (BERTULUCI, 2020). Nesse sentido, é comum utilizar como critério diferentes combinações de tipos variados de classificação para descrever o barramento com maior precisão (TANUS, 2018).

Sob o mesmo ponto de vista, segundo Timbó (2018) e Costa (2012), as barragens podem ser divididas em duas classes distintas: os barramentos convencionais, que são mais utilizados atualmente e que possuem existência de grande bibliografia específica sobre eles, como por exemplo: barramentos feitos de terra, enrocamento, concreto e barragens mistas. E os barramentos não convencionais, que são estruturas menos usuais, não existindo literatura ampla específica disponível acerca deles, esse grupo inclui os tipos de barramentos recém desenvolvidos com o uso de novas tecnologias e materiais, como por exemplo: barragens constituídas de gabião, madeira, alvenaria, pedra, entre outros materiais.

Por conseguinte, de acordo com Bertuluci (2020), um barramento de terra é construído a partir de realização de deslocamento e disposição de material de empréstimo com acumulação e sucessiva compactação, geralmente geotécnico. Além disso, para a construção de barragens de terra é necessária uma extensa quantidade de material para a confecção do núcleo da estrutura, que geralmente é feito de material argiloso, utilizando espaldares, filtros e drenos (TANUS, 2018).

Embora sejam muito utilizadas, as barragens são estruturas geralmente associadas a um grande risco em potencial devido à possibilidade de ocorrência de acidentes, como por exemplo a ruptura da estrutura, envolvendo consequências catastróficas para população próxima ao empreendimento, com a possibilidade de causar danos ambientais, econômicos e materiais, além do risco de perda de vidas humanas (ZUFFO, 2015).

Em vista disso, Aguiar et al. (2015), mencionam que barragens do Brasil estão se deteriorando com o passar do tempo, considerando a idade da barragem como um fator importante na determinação de sua segurança, devido à danificação inerente ao estado de conservação da estrutura e ao seu tempo de vida útil, tendo em conta também o tipo de barramento, uma vez que cada um possui uma característica específica, sendo suscetível a algumas falhas. Esses fatores reforçam a necessidade de intensificar os cuidados em relação à segurança desses

barramentos, pois com a crescente construção de novas barragens, as já existentes necessitam de avaliações periódicas para se verificarem as condições de segurança.

Acrescente-se que, é comum a existência de construção de barragens de terra sem elaboração de projeto, e sem apoio técnico adequado, por empreendedores que não possuem acesso às informações sobre as medidas para garantir a segurança da estrutura. Contudo, quando há existência de projeto, ele geralmente apresenta algumas falhas, como por exemplo a ausência de estudos específicos e de demais critérios técnicos básicos, que são fundamentais para a construção e segurança de barramentos (GOMES; TEIXEIRA, 2017).

Saliente-se ainda que, conforme afirmado por Salinas (2017), uma vertente muito importante no estudo de barramentos é a manutenção adequada deles, pois ela é de extrema importância para garantir a segurança durante toda a vida útil da obra, visto que, a falta desta ou descuido pode acarretar problemas futuros, como por exemplo a ocorrência de acidentes envolvendo a barragem e a população a jusante dela.

Levando em consideração os fatores apresentados, este trabalho teve como objetivo realizar uma análise e descrição das anomalias mais recorrentes em barragens feitas de terra, para acumulação de água, utilizadas para fins agropecuários ou de usos múltiplos, presentes na região da bacia hidrográfica do rio Itaúnas no estado do Espírito Santo, correlacionando essas informações com o tipo de fundação e a idade dos barramentos. O estudo se justifica em conhecer e diagnosticar as reais condições das barragens do estado em relação a segurança e patologias, realizando desta forma, um acompanhamento atual da situação dessas estruturas e dos riscos que elas apresentam.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

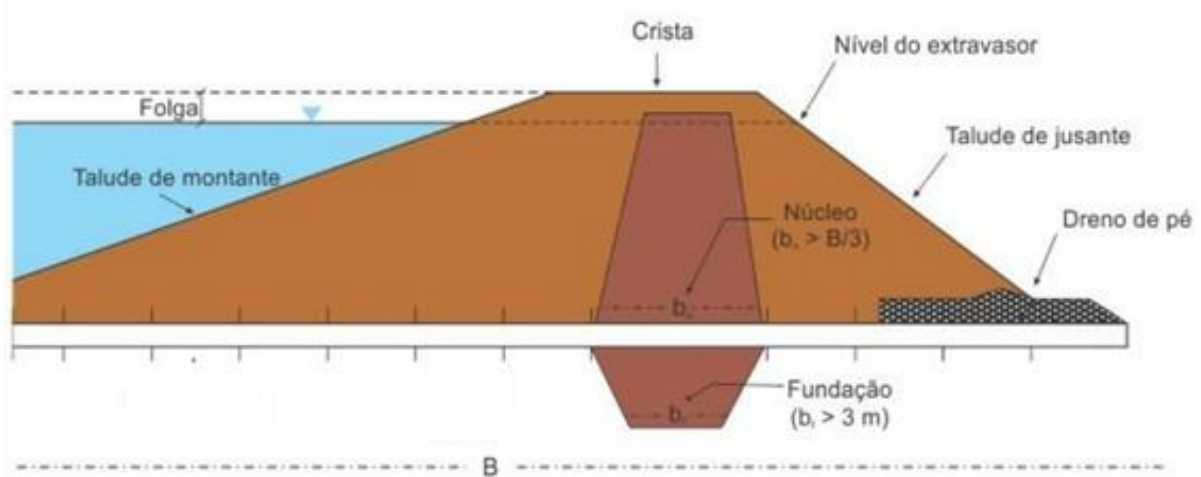
### **2.1. BARRAGENS DE TERRA**

As barragens de terra são um tipo muito antigo de construção. Um dos registros mais antigos é de uma barragem de 12 m de altura, construída no Egito, há aproximadamente 6,8 mil anos, e que rompeu por transbordamento. As barragens de terra eram “homogêneas”, com o material transportado manualmente e compactado por pisoteamento, por animais ou homens (MASSAD, 2010).

Sobre a sua constituição, Gameleira e Amaral (2018), concluíram que a barragem de terra é o tipo mais comum e é facilmente encontrada devido à

disponibilidade de material terroso no Brasil. Esse tipo de barragem apresenta uma considerável vantagem quando comparada com as barragens de concreto, pois pode ser construída sobre fundações com resistência mais baixa, apoiada sobre solos moles, como ilustra a figura 1.

Figura 1 – Principais Elementos de uma Barragem de Terra



Fonte: Atlas Digital das Águas de Minas, 2011.

Segundo Stephens (2011), os materiais suficientemente permeáveis tais como os solos argilo-arenosos, são os mais adequados para compor o maciço de montante, pois estes permitirão uma passagem de água limitada e resistirão ao abatimento, quando molhado. Deve-se atentar às técnicas de compactação quando solos de qualidade inferior são usados, para diminuir ao máximo o volume de espaços de vazios e maximizar a sua estabilidade quando molhados. Já no maciço de jusante e nas seções do aterro que precisam de massa e drenagem, geralmente são usados materiais permeáveis, tais como areia grossa e cascalho miúdo. Em geral, estes podem ser melhor compactados se secos ou apenas ligeiramente úmidos.

Em áreas rurais se utiliza a construção de barramentos de terra para várias finalidades, principalmente para a irrigação, seguida de: abastecimento da propriedade, criação de peixes, recreação, bebedouro, elevação de água por bombeamento e outros. Além disso, as barragens constituídas de material terroso podem ser classificadas de acordo com a disponibilidade dos materiais de

construção, sendo homogênea quando usado apenas um tipo de solo e heterogênea (zoneada) quando é usado dois ou mais tipos de solo (CARVALHO, 2008).

De acordo com Marangon (2004) e conjuntamente Timbó (2018), um barramento é considerado homogêneo quando é composto de apenas um tipo de material, sem levar em consideração a proteção dos taludes. Esse tipo de estrutura, para manter uma estabilidade adequada, precisa de taludes relativamente suaves, e o material utilizado em sua composição deve ser suficientemente impermeável, a fim de formar uma barreira efetiva contra a água.

As barragens classificadas como zoneadas, que são feitas com o núcleo central impermeável, envolvido por zonas de materiais mais permeáveis, geralmente constituídas de areia, cascalho, fragmentos de pedra, ou uma mistura desses materiais. Essas zonas têm a função de suportar e proteger o núcleo da barragem. Nesse tipo de barramento, as camadas têm função de drenos, descartando a necessidade de revestir os taludes, além disso, os ângulos de atrito internos, por serem maiores, conferem uma estabilização considerável para a estrutura (TIMBÓ, 2018).

As principais vantagens na construção de barragens de terra são a utilização de materiais naturais locais, a simplicidade dos procedimentos de projeto construtivo, a menor exigência de requisitos para as fundações, o baixo custo, e a facilidade de construção. Contudo, esse tipo de estrutura também apresenta algumas desvantagens, tais como a facilidade de danificação pela ação da água corrente, a necessidade de acompanhamento e fiscalização quanto à compactação adequada para que a estrutura não apresente infiltração e recalque, e a necessidade de manutenção contínua para evitar erosão, crescimento de árvores, sedimentação, e danos provocados por animais (ABREU, 2015).

## **2.2. SEGURANÇA DE BARRAGENS**

Regularmente, uma barragem é dita segura quando atende aos critérios de segurança estrutural, ou seja, possui conformidade entre projeto, execução e manutenção, de maneira que possa garantir o funcionamento correto. Entretanto, também deve ser considerado o potencial de danos que uma possível ruptura no barramento pode provocar. Isso retrata diretamente a sensação de segurança que é passada pela estrutura. O potencial de dano é, então, calculado levando em conta as áreas de influência a montante e a jusante da barragem (AGUIAR et al., 2015).

De acordo com Medeiros (2020), a instrução que cuida da segurança das barragens também cuida da qualidade da estrutura durante sua vida útil, esse tratamento é realizado através de inspeções visuais e instrumentos que permitem que sejam realizadas essas inspeções. No Brasil, as barragens mais antigas que ainda estão em operação datam do século XIX, algumas delas acabaram perdendo sua funcionalidade, mas ainda assim não foram totalmente desativadas.

As causas mais comuns de falhas em barragens são o galgamento, que é o transbordamento do reservatório, estimado em aproximadamente 40% de ocorrência, e problemas na fundação da estrutura, como percolação e erosão interna (piping), estimado em aproximadamente 30% de ocorrência. Ademais, é possível afirmar que por volta de dois terços das grandes barragens construídas na América Latina estão localizadas no Brasil (WCD, 2001).

Nos últimos dez anos importantes alterações na legislação brasileira de segurança de barragens aconteceram, muitas delas ocorreram após acidentes envolvendo rompimentos de barragens no país, tais como os desastres de Mariana e Brumadinho. Um importante marco na administração de segurança de barragens no Brasil, ocorrido em 2010, foi a elaboração da lei que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), que tem por finalidade regularizar as ações e parâmetros de segurança de barragens e assegurar que sejam seguidos para diminuir a possibilidade de acidentes e suas consequências (BRASIL, 2010).

### **2.3. ANOMALIAS APRESENTADAS EM BARRAGENS DE TERRA**



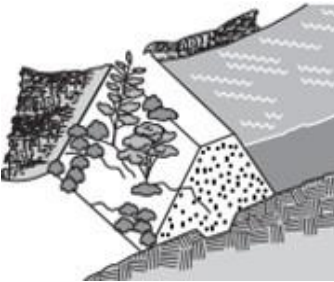
A Resolução nº 742 de 17 de outubro de 2011 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que determinou a regularidade, a competência da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhes das inspeções de segurança regulares de barragem, em concordância com o artigo 9º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 (que criou a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB), caracteriza anomalia como sendo “qualquer deficiência, irregularidade anormalidade ou deformação que possa vir afetar a segurança da barragem, tanto a curto com a longo prazo”.

Em harmonia, Santos (2019), menciona que todo tipo de construção está sujeita a ter algum tipo de problema, existindo uma necessidade de identificação e tratamento. Segundo ele, ao longo do tempo de vida útil de uma barragem de terra podem surgir diversos tipos de anomalias, que podem ser capazes de abalar o

desempenho do barramento e de suas demais estruturas, podendo até mesmo resultar em um rompimento ou galgamento da barragem, caso não sejam identificadas e tratadas a tempo, e conseqüentemente trazem riscos às populações localizadas no seu entorno.

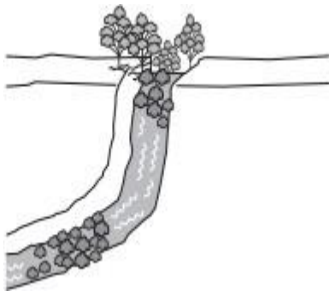

Sintetizando, é possível destacar alguns exemplos de anomalias que podem evoluir e afetar o funcionamento seguro do barramento de terra apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 - Principais anomalias presentes em barragens de terra

Anomalia	Imagem	Descrição
Borda livre insuficiente	 <p>Fonte: Repositório AGERH, 2021.</p>	<p>A borda livre mínima é definida como a distância entre o topo do talude e o nível máximo de água que o reservatório pode atingir em épocas de cheia. Esse parâmetro deve ser estabelecido em projeto para certificar a segurança da barragem, e caso não tenha sido calculada deve ser de pelo menos um metro, com a finalidade de proteção contra possíveis transbordamentos em situação de chuva intensa. O nível normal do reservatório sempre deve ficar abaixo da borda livre mínima (AGERH, 2020).</p>
Percolação, infiltração ou surgência de água	 <p>Fonte: AGERH, 2020.</p>	<p>É uma anomalia definida como o deslocamento da água pelo maciço e fundação, e que poderá se transformar em um problema quando houver o carregamento do solo do maciço ou da fundação, pelo fluxo de água da barragem, ou quando ocorrer um acréscimo de pressão na fundação ou no barramento (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002). Alguns fatores que podem indicar a existência de percolação, infiltração ou surgência de água no barramento são: o aparecimento de vegetação mais verde sem motivo aparente próxima a barragem, presença de regiões úmidas, ou surgimento de água nas paredes secas dos taludes (AGERH, 2020).</p>
Vegetação excessiva ou de grande porte		<p>O crescimento de árvores e arbustos, nos taludes de montante e de jusante, e na área logo após à jusante do barramento, pode causar danos à estrutura devido ao crescimento de raízes, como por exemplo a diminuição da distância de percolação, aumento de vazios maciço pela decomposição de raízes ou extração de árvores, entupimento de tubos e estruturas de drenagem, entre outros. Além disso, a presença de vegetação excessiva dificulta ou até mesmo impede a realização de inspeção visual e física da estrutura e áreas adjacentes, atrapalhando</p>

	<p>Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2002.</p>	<p>a observação de outras anomalias (MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002).</p>
<p>Tocas de animais, formigueiros ou cupinzeiros</p>	 <p>Fonte: ANA, 2016.</p>	<p>O surgimento de formigueiros, cupinzeiros, ou tocas de animais deve ser monitorado e removido, pois podem gerar percolações e erosões internas (piping), devido a passagem de animais ou ninhos, que realizam a conexão do reservatório com o talude de jusante, ou geram o encurtamento dos caminhos de percolação. Além disso, também há a possibilidade desses caminhos penetrarem o núcleo central do barramento, e até mesmo causar o colapso da barragem (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002).</p>
<p>Deformações, recalques, buracos, trincas ou afundamentos</p>	 <p>Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2002.</p>	<p>São definidos como qualquer alteração no formato do barramento, como abertura de fissuras, buracos ou afundamentos, que podem estar localizados em qualquer parte da estrutura, e podem significar a movimentação da mesma e uma possibilidade de rompimento (AGERH, 2020).</p>
<p>Falha na cobertura da barragem e dos taludes</p>	 <p>Fonte: Repositório AGERH, 2021.</p>	<p>Os taludes da barragem devem ser cobertos com rochas (enrocamento), ou vegetação rasteira, como gramíneas. Além disso, quando esse tipo de proteção apresenta falhas ou não existe cobertura adequada, esses fatores podem desencadear erosão superficial, que é um processo capaz de destruir parte da estrutura de terra que forma o barramento (AGERH, 2020).</p>
<p>Presença de vegetação aquática</p>	 <p>Fonte: Repositório AGERH, 2021.</p>	<p>A proliferação de plantas aquáticas é prejudicial pois pode causar o entupimento das estruturas de drenagem e regulação de cheias do barramento, além da possibilidade de comprometer a qualidade da água do reservatório, e até mesmo causar a sua eutrofização (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002).</p>



<p>Obstruções, deterioração ou falta de estruturas</p>	 <p>Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2002.</p>	<p>As estruturas do barramento devem estar sempre desobstruídas e em boa condição, principalmente mecanismos como os monges e vertedouros, que são essenciais para a segurança e funcionamento correto da barragem, pois são responsáveis por regular as cheias do reservatório e por manter a vazão ecológica no curso hídrico, evitando dessa maneira, que o reservatório acabe armazenando mais água do que foi projetado em caso de chuvas intensas (AGERH, 2020).</p>
<p>Erosão</p>	 <p>Fonte: Repositório AGERH, 2021.</p>	<p>Consiste no desprendimento, desgaste, transporte e sedimentação de partículas de solo em virtude da atuação de forças causadas pelo fluxo de água (FILHO, 2013).</p>

Fonte: Autores, 2021.

## 2.4. DIAGNÓSTICO E MANUTENÇÃO EM BARRAGENS DE TERRA

Os rompimentos de barragens são comuns no mundo todo. Numa tentativa de criar técnicas para evitar ou reduzir o grau de intensidade dos acidentes causados pelo rompimento de barragens de terra, especialistas mensuraram quais são as causas mais frequentes (BARBOSA, 2020). De acordo com Caputo (1987), as principais causas de ruptura são galgamento (extravasamento), infiltrações e deslizamentos. A tabela 1, a seguir, mostra as principais causas de ruptura de barragens nos Estados Unidos.

Tabela 1 – Principais causas de rupturas de barragens de terra

Extravasamento (galgamento)	30%
Infiltrações	25%
Deslizamentos	15%
Vazamentos de condutos	13%
Falta de proteção dos taludes	5%

Causas diversas e desconhecidas	12%
---------------------------------	-----

Fonte: Adaptado de Caputo (1987).

A fiscalização de barragens inclui a preparação da barragem e das estruturas extravasoras, como também das respectivas fundações, de forma a possibilitar a medição de um agrupamento de grandezas selecionadas criteriosamente que, juntamente às inspeções de segurança, permita controlar as condições de segurança dessas estruturas, durante a construção e o primeiro enchimento do reservatório, bem como nas revisões de segurança posteriormente (ANA, 2016).

Atividades de monitoramento são complementadas pelas inspeções de segurança, com vista à detecção de degradação, comportamentos atípicos ou sintomas de envelhecimento das estruturas, além de identificação de anomalias na própria instrumentação instalada na barragem (ANA, 2016).

Os taludes de uma barragem de terra devem estar estáveis para evitar problemas com a segurança da estrutura e uma possível ruptura (BARBOSA,2020).

De acordo com a NBR 11.682 (ABNT, 2009), que foi criada para definir os parâmetros no estudo e no controle de taludes, além dos parâmetros de projeto, execução e conservação de obras de contenção de taludes, diz que um talude estável não apresenta nenhum tipo de instabilidade como, por exemplo, trincas, erosão, abatimentos, rachaduras em obras locais, etc.

A preservação das estruturas deve ser realizada com cunho preventivo ou quando é verificada a presença de sinais ou sintomas de deterioração, particularmente, a partir de inspeções de segurança regulares e especiais, ou em consequência da revisão frequente de segurança de barragens. Podem se considerar dois tipos de manutenção das estruturas: a manutenção corrente e a revisão ou reparo (ANA, 2016).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), a manutenção corrente é o conjunto de ações desenvolvidas periodicamente, com vista a manter as estruturas nas condições de funcionalidade e segurança necessárias, e engloba, essencialmente, as medidas preventivas de rotina, também conhecida como manutenção preventiva.

Na fase de manutenção preventiva, as condições ideais de uma barragem não consistem apenas de um bom projeto de instrumentação de auscultação necessitando ser acompanhado de inspeções visuais periódicas em campo, que tem

por objetivo identificar danos em potencial e alertar sobre as condições que podem afetar a segurança das estruturas associadas. Devem ser incluídas na inspeções local, a barragem, sua fundação, dispositivos de descarga, dispositivos de saída, reservatório, áreas imediatamente à jusante, dispositivos de auscultação e as vias de acesso (BARBOSA, 2020).

Segundo a ANA (2016), na manutenção corretiva, as intervenções de revisão ou reparação, envolvendo meios humanos e materiais, podem ser necessárias na sequência de anomalias importantes, com eventuais condicionamentos à operação do aproveitamento.

De acordo com Barbosa (2020), a fase de manutenção corretiva refere-se aos trabalhos de diagnóstico, reparação, reforço e proteção das estruturas que já perderam sua vida útil de projeto e exibem patologias evidentes. A estas atividades pode-se associar um custo 125 vezes superior ao custo das providências que deveriam ter sido feitas na fase de projeto e que resultariam num mesmo nível de durabilidade que foi estimado na obra após a intervenção corretiva.

O planejamento das ações referidas e eventuais estudos de apoio devem basear-se na análise das causas prováveis das deficiências surgidas e ter em consideração o tipo de estrutura e os condicionantes da intervenção a efetuar (ANA, 2016).

Ainda segundo a ANA (2016), os trabalhos de correção, visando eliminar as causas das anomalias ou, ao menos, controlar o seu desenvolvimento, devem ser definidos em projeto, incluindo a descrição e justificativa técnica da solução adotada.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Os dados utilizados neste estudo foram fornecidos pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), especificamente pelo setor de Gerência de Gestão de Infraestrutura Hídrica (GGIH), responsável pela área de planejamento e realização de vistorias visando à segurança de obras hídricas, principalmente de barragens de acumulação de água, feitas de terra, concreto, enrocamento, e mistas, utilizadas para fins agropecuários e de usos múltiplos, em todo o estado do Espírito Santo, não contemplando apenas os barramentos utilizados para geração de energia elétrica,

uma vez que essas barragens são fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

As informações iniciais para análise constituem em planilhas constando as anomalias encontradas, características físicas e estruturais dos barramentos, e demais informações referentes aos pareceres técnicos das barragens inspecionadas em campo pelos profissionais da AGERH nos anos de 2019 e 2020, totalizando em uma amostra de um total de 141 barragens constituídas de diferentes tipos de materiais, localizadas em todo o Estado.

O objetivo do estudo foi analisar apenas barragens de acumulação de água constituídas de terra homogênea, localizadas na região da bacia hidrográfica do Rio Itaúnas, do Estado do Espírito Santo, totalizando uma amostra final de 25 barragens.

### **3.2. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS BARRAGENS**

Os critérios para avaliação das características físicas das barragens selecionadas considerados no estudo foram os tipos de fundações de cada estrutura, o ano aproximado de conclusão da construção do barramento, levando em consideração que o início de operação das barragens foi feito imediatamente após a finalização da construção da obra (idade da barragem), e as anomalias presentes em cada uma delas.

Acrescenta-se ainda que, foi realizado um tratamento utilizando a linha do tempo de imagens satélite no Google Earth, que indicam os anos nas quais elas foram disponibilizadas, com a finalidade de se obter o ano aproximado de conclusão de construção das 17 barragens que não apresentaram esse dado especificado, e da realização de conferência dos dados de idade disponibilizados pela AGERH, das 8 barragens restantes. Em síntese, dessas 17 barragens que passaram pelo tratamento, 10 barramentos aparecem nas imagens mais antigas disponíveis, datadas em 2010, com isso, foi associado o ano de 2010 à data de conclusão da construção dessas 10 barragens. Além disso, também foi possível encontrar os anos de conclusão de construção das 7 barragens restantes, e confirmar os dados de idade das 8 barragens que já possuíam esse dado especificado pela AGERH.

Além disso, devido a maior parte dos barramentos não apresentarem projetos e demais documentações contendo dados técnicos, foram desconsideradas na análise, as medidas de capacidade, área alagada, altura, largura e comprimento, visto que, a maioria dos valores existentes foram estimados sem muita precisão,

adquiridos através de mensuração visual em campo, conferência ao empreendedor da estrutura, ou empregando recursos de cálculo utilizando como base imagens de satélite.

### **3.3. AVALIAÇÃO DAS PATOLOGIAS E CORRELAÇÕES DAS CAUSAS**

A avaliação das patologias foi realizada através da separação, análise e tabulação de todas as anomalias encontradas nas 25 barragens selecionadas para o estudo, ponderando também a recorrência das anomalias, mensurando graficamente os resultados.

Salienta-se ainda que, os profissionais da AGERH realizaram a listagem das informações de tipo de fundação, idade e anomalias, através da observação visual das barragens, durante inspeções de campo, realizadas entre os anos de 2019 e 2020, e da análise do que foi observado, juntamente com os documentos dos barramentos, e das informações fornecidas pelos empreendedores ou obtidas com auxílio de imagens aéreas.

Posteriormente, as correlações das causas das patologias foram realizadas através de um estudo comparativo utilizando análise gráfica e tabulação, correlacionando as principais anomalias encontradas nas barragens com as características de idade da barragem e tipo de fundação, ponderando também, a recorrência das anomalias encontradas, e descrevendo os resultados.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os dados obtidos neste estudo remetem-se ao processo final de análise, tratamento e correlação das informações iniciais fornecidas pelos profissionais da AGERH, referentes às anomalias, tipo de fundação e data de fim de construção (idade) de uma amostra final de 25 barragens de acumulação de água feitas de terra homogênea, posicionadas em conformidade com a figura 2 abaixo:

Figura 2 - Mapa indicando a localização dos barramentos na bacia hidrográfica do Rio Itaúnas.



Fonte: AGERH, adaptado pelos autores, 2021.

A figura 2 ilustra os pontos de localização das barragens na região da bacia hidrográfica do Rio Itaúnas no estado do Espírito Santo, inseridas em afluentes do Rio Itaúnas, situados nos municípios de Ponto Belo, Boa Esperança e Pinheiros.

As características acerca do tipo de fundação são fatores importantes que podem influenciar diretamente na resistência, deformabilidade, permeabilidade e declividade da barragem. Em vista disso, para desempenhar uma análise e correlação entre os tipos de fundações dos barramentos utilizou-se as informações quantitativas descritas na tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade de barragens de acordo com o tipo de fundação.

<b>Tipo de Fundação</b>	<b>Barragens</b>
Aluvião	64%
Solo Residual	24%
Solo Compacto	12%

Fonte: Autores, 2021.

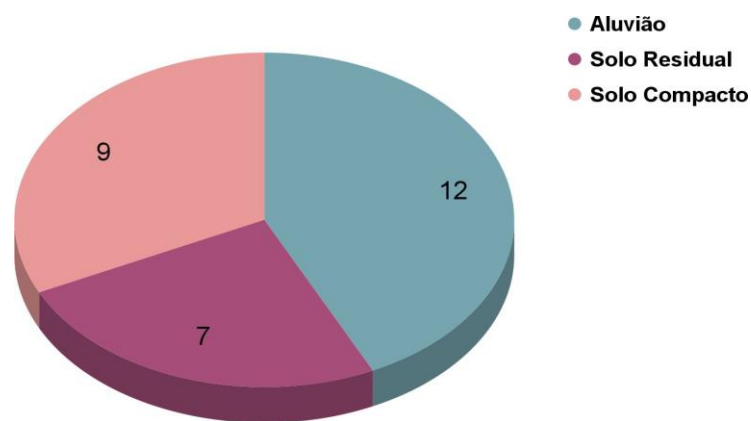
A tabela 2 expõe que a maioria das barragens ponderadas apresentam fundações de aluvião, presentes em 62% das barragens, apontando este como o tipo de fundação mais comum em barramentos da região analisada, isso acontece principalmente pela maior disponibilidade desse material, pelo processo simplificado de construção, e devido ao baixo custo, considerando que, este tipo de fundação

possui uma diversidade de solos, dispondo de características como a baixa resistência mecânica, a porosidade elevada, que conseqüentemente permite maior percolação, e a possível presença de matéria orgânica, particularidades que acabam influenciando no valor do material e na qualidade do barramento.

Já as fundações de solo residual ou compacto, possuem um processo construtivo mais complexo e demandam materiais específicos, que apresentam maior resistência, menor porosidade e percolação, aspectos que os tornam menos usuais em obras pequenas de baixo orçamento, sem acompanhamento técnico específico, como é o caso da maioria dos empreendimentos apurados neste estudo.

Subseqüente, foi feita uma correlação entre os tipos de fundação e as anomalias encontradas nas barragens, conforme é demonstrado no gráfico 1 abaixo:

Gráfico 1 - Quantidade de anomalias de acordo com o tipo de fundação.



Fonte: Autores, 2021.

Através dos dados do gráfico, pode-se afirmar que as barragens analisadas, que possuem fundação de aluvião apresentam uma maior suscetibilidade a anomalias, em virtude delas apresentarem todos os 12 tipos de anomalias analisados, que estão diretamente ligados à falta de instrumentação, manutenção, e fiscalização.

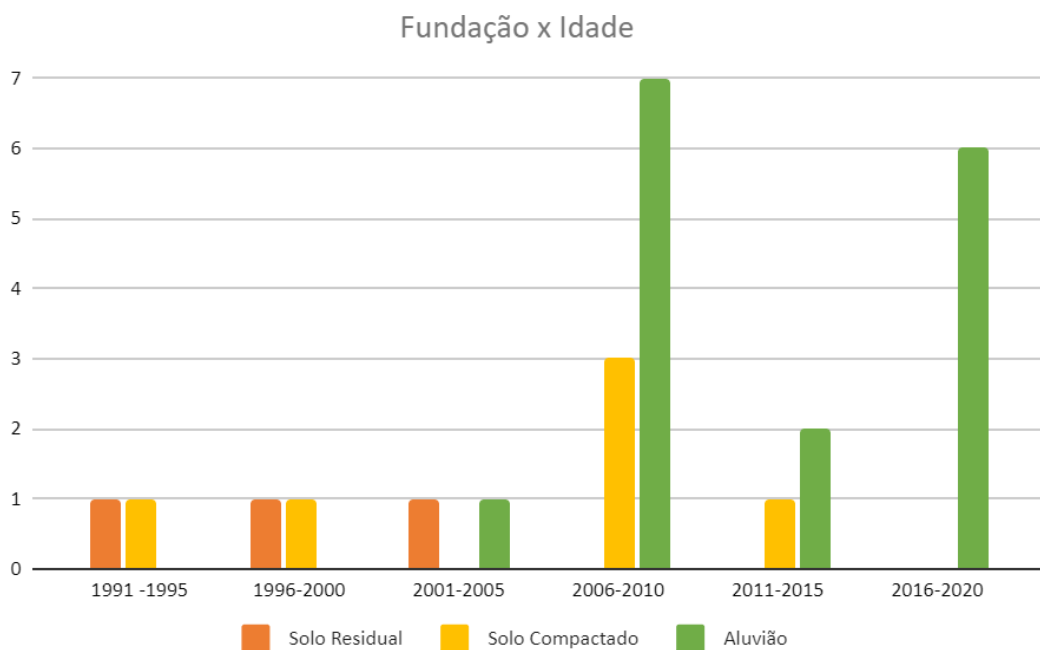
Ainda, pode-se relacionar propensão à anomalias as características das fundações de solo aluvionar, tais como a variedade granulométrica, a baixa coesão, a pouca capacidade de carga, e a alta permeabilidade, que demandam o uso de estruturas específicas, como drenos e filtros para controlar a percolação, a necessidade de cobertura vegetal gramínea nos taludes, a fim de evitar erosões, além de um cuidado maior em relação a carregamentos na estrutura, implicando o

uso de cercas para evitar a passagem de animais de grande porte nos taludes e na crista, e o controle ou impedimento da passagem de veículos na crista da barragem, estas medidas evitam deformações, recalques, buracos e afundamentos no barramento.

A partir da análise dos fatos expostos, também é possível afirmar que as barragens que possuem fundação de aluvião, geram mais anomalias que os barramentos que dispõem fundações de solo residual ou de solo compacto, pois além delas apresentarem um número menor de anomalias no estudo, respectivamente 7 e 9 de um total de 12 anomalias analisadas, esses tipos de fundações são compostas de solos mais coesos, compactos e com um índice de vazios inferior, o que acarreta em uma necessidade menor de cuidados específicos em comparação com as fundações de aluvião, e que conseqüentemente influencia na ocorrência de um número de anomalias inferior nas fundações de solo residual ou de solo compacto.

Além disso, também foi realizada uma correlação entre os tipos de fundações e o ano de conclusão da construção do barramento (idade), ilustrado pelo gráfico 2 abaixo.

Gráfico 2 - Tipos de fundação de acordo com a idade dos barramentos.



Fonte: Autores, 2021.

Por meio da análise do gráfico 2 é possível afirmar que as barragens localizadas na região da bacia do Rio Itaúnas, que possuem fundação de solo



residual, eram mais utilizadas no período de 1991 a 2001, enquanto as fundações de aluvião passaram a ser mais utilizadas a partir de 2005.

Esse fato pode ser relacionado diretamente com o crescimento do agronegócio no Espírito Santo com o passar dos anos, principalmente na região norte, onde localizam-se as barragens estudadas, demandando a construção de mais barragens para suprir o consumo hídrico local, usufruído principalmente para irrigação, dessedentação animal e piscicultura.

Desse modo, principalmente devido a facilidade de construção, acesso ao material e baixo custo, um maior número de barragens foram criadas de maneira irregular na região rural do norte do estado nos últimos anos, utilizando nas fundações o material com maior disponibilidade do local, com processo construtivo simples, e com menor valor, que nesse caso é o aluvião.

Sendo assim, esses fatores tornam-se um problema pois a forma de construção, o material utilizado na fundação, juntamente com a falta de estrutura, acompanhamento técnico e fiscalização adequada dessas obras, originam anomalias que suscitam o risco de acidentes envolvendo barramentos na região.

Outrossim, foi efetuada também, uma correlação entre a idade dos barramentos e as anomalias encontradas. Porém, através dessa análise, não foram observadas analogias diretas entre esses parâmetros.

Em seguida, foi executada uma apuração, expressa em porcentagem, das anomalias presentes em cada barragem, descritas na tabela 3.

Tabela 3 - Total de barragens que apresentaram anomalias.

<b>Anomalias</b>	<b>Total de barragens que apresentaram essas anomalias</b>
Deformações; recalques; buracos; trincas; afundamentos;	36%
Erosões;	32%
Vegetação excessiva e/ou de grande porte	92%
Falha ou falta de cobertura vegetal	64%
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	52%
Percolação, infiltração ou surgência de água	20%
Monge sem passarela de acesso adequada	80%
Vertedouro obstruído	28%
Não possui vertedouro/extravasor	36%

Não possui monge	52%
Presença de vegetação aquática, árvores e arbustos no reservatório	44%
Nível do reservatório próximo a crista com pouca folga de borda livre	16%

Fonte: Autores, 2021

Por meio da análise dos dados da tabela 3, é possível afirmar que a presença de vegetação excessiva e/ou de grande porte foi a anomalia mais ocorrente nas barragens, estando presente em 92% das barragens analisadas. Esse tipo de anomalia é uma consequência direta da falta de procedimentos de manutenção da estrutura, e pode causar uma série de danos ao barramento, pois além de dificultar a realização de inspeção visual e o acesso ao empreendimento, os arbustos podem abrigar animais roedores e insetos, e as raízes de árvores podem criar caminhos para passagem de água, provocando percolação e piping, que também são patologias causadas pelas tocas de animais e perfurações de insetos.

Com isso, ainda pode-se destacar a falta de passarela adequada de acesso ao monge (dispositivo de saída de vazão mínima no reservatório), e a falha ou falta de cobertura vegetal, encontrada principalmente nos taludes, como anomalias que também apresentaram porcentagens significativas de recorrência entre as barragens selecionadas, manifestadas, respectivamente, em 80% e 64% do barramentos estudados. A primeira sendo consequência da falta de informação e de apoio técnico adequado, e a segunda decorrente desses fatores juntamente com a falta de manutenção correta da barragem.

A falta de passarela de acesso ao monge, além de dificultar o alcance da estrutura em dias de chuva intensa, pode também impedir a inspeção e desobstrução da estrutura, principalmente em uma situação de emergência, podendo ocasionar o galgamento do barramento. Já a falha ou falta de cobertura vegetal deixa a barragem sujeita a processos erosivos, geralmente causados pela ação da água da chuva, e quando presente no talude de jusante pode ocasionar carregamento de solo para dentro do reservatório, gerando erosões, obstruções e até mesmo colapso da estrutura. O ideal é manter nos taludes e ombreiras apenas a vegetação rasteira, preferencialmente gramínea.

Portanto, pode-se concluir por meio das análises e correlações efetuadas no estudo, que a maior parte das barragens de terra homogênea localizadas na região

rural da bacia do Rio Itaúnas foram construídas de maneira simples, utilizando o material mais barato e com a maior disponibilidade do local, com o emprego de poucas estruturas específicas que auxiliam o funcionamento e a preservação do barramento, sem dispor de apoio técnico adequado, e a falta deste, afetou diretamente a condição física e estrutural das barragens, pois os empreendedores não obtiveram o direcionamento adequado para construção e realização de manutenção periódica correta da estrutura, o que acarretou em uma maior incidência de anomalias, conseqüentemente aumentando a possibilidade de acidentes na região.

## **5. CONCLUSÃO**

As barragens são construções muito comuns, utilizadas no meio rural, principalmente para o armazenamento de água, sendo necessárias para suprir a alta demanda hídrica do agronegócio. Entretanto, essas estruturas, em caso de acidentes, podem causar danos potenciais para o meio em seu entorno, sendo necessário ter apoio técnico adequado e realizar vistorias periódicas para manter a segurança.

Através do estudo determinou-se que a fundação de aluvião foi utilizada na maior parte das barragens analisadas, presente em 62% dos barramentos, principalmente em virtude da viabilidade de custo, facilidade de construção e acesso ao material. Além disso, esse tipo de fundação também se mostrou mais suscetível a anomalias, pois as barragens com esse tipo de fundação apresentaram todas as 12 anomalias verificadas neste estudo.

Também foi efetuada uma correlação entre a idade dos barramentos e as anomalias encontradas, porém não foi possível encontrar uma relação direta entre esses dois parâmetros. Além disso, foi possível constatar também, através da análise realizada, que as anomalias mais recorrentes encontradas nas barragens, foram a presença de vegetação excessiva e/ou de grande porte, presente em 92% das barragens analisadas, a falta de passarela de acesso ao monge (dispositivo de saída de vazão mínima no reservatório) com 80% de ocorrência, e a falta ou falha de cobertura vegetal expressa em 64% dos barramentos.

Ao final da realização do estudo, foi possível concluir que a possível causa principal das patologias em pequenas barragens de acumulação de água está

intimamente ligada a falta de apoio técnico adequado aos empreendedores e principalmente a falta de manutenção adequada da estrutura.

O estudo possibilitou conhecer e diagnosticar as reais condições das barragens estudadas em relação a segurança e patologias, através de um acompanhamento atual da situação das estruturas e dos riscos que elas apresentam. Com base nos resultados obtidos, considera-se que a realização de vistorias e inspeções nas barragens são muito importantes, pois a eficiência na gestão da barragem prolonga sua vida útil, ao preservar o bom estado das estruturas, e com isso, diminuir a chance de ocorrência de danos.

Trabalhos futuros poderão ser realizados a partir do levantamento de dados em campo, podendo contrapor as informações fornecidas pela AGERH, e relacionando os valores encontrados, com as anomalias e as características dimensionais dos barramentos. Além disso, outra oportunidade para aprimoramento desta pesquisa, é executar uma análise das anomalias e características de um outro universo de barragens, presentes em regiões diferentes, comparando com os resultados obtidos neste estudo.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Ricardo Rossato. **Dimensionamento e acompanhamento executivo de uma barragem de terra para irrigação**: um estudo de caso. Orientador: M. Sc. Jaelson Budny. 2015. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2015. Disponível em: <[encurtador.com.br/ekAE1](http://encurtador.com.br/ekAE1)> Acesso em: 31 out. 2021.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH). **Cartilha de Segurança de Barragens**. 2020. 28p. Disponível em: <[https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Cartilha/SegurancadeBarragens\\_Agerh.pdf](https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Cartilha/SegurancadeBarragens_Agerh.pdf)>. Acesso em 20 set. 2021.

AGUIAR, Daniel Prenda de Oliveira et al. Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 360-368, abr./jun. 2015. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/157/b157490568045e9865623db2927a7df8\\_1af5d1d5a1cb03e1cda36b1704bb0f0c.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/157/b157490568045e9865623db2927a7df8_1af5d1d5a1cb03e1cda36b1704bb0f0c.pdf)>. Acesso em: 24 fev. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682** – Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

**ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS**: Uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Disponível em: <[http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos\\_aplicativos/roteiro\\_dimensionamento\\_barragens.html](http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html)>. Acesso em: 26 set. de 2021.

BARBOSA, et al. **Diagnóstico e execução de ações corretivas em barragem de terra: Estudo de caso da barragem Poleiros em Barra de Santa Rosa-PB.** 2020. 11p. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/4103/1435>>. Acesso em: 26 set. de 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Resolução ANA nº 742 de 17 de outubro de 2011.** Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem, conforme art. 9º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 27 out. 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens:** Guia Prático de Pequenas Barragens. Brasília, 2016. 120 p. v.8. Disponível em: <[http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=124735&tipo\\_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=68804&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0](http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=124735&tipo_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=68804&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0)> . Acesso em: 21 fev. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.334 de 20 de setembro 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, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 set. 2010.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens.** Brasília, 2002. 148 p. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdeSegurancaeInspecaoBarragens.pdf>> . Acesso em: 21 fev. 2021.

BERTULUCI, Fernanda Barbosa. **Análise das condições de percolação em barragem de terra a partir do método geofísico da eletrorresistividade.** Orientador: César Augusto Moreira. 2020. 70 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2020. Disponível em: <[encurtador.com.br/dDOX3](http://encurtador.com.br/dDOX3)>. Acesso em: 16 maio 2021.

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

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

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 352 p.

FILHO, Marcos de Ávila Pimenta. **Análise da erosão interna de solos em barragens com base na distribuição de vazios.** Orientador: Terezinha de Jesus Espósito. 2013. 124f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em:

<[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9E5H5B/1/geotecniatransportes\\_marcosavilapimentafilho\\_dissertacao.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9E5H5B/1/geotecniatransportes_marcosavilapimentafilho_dissertacao.pdf)>. Acesso em: 04 out. 2021.

GAMELEIRA, Emmanuel Lira; AMARAL, Filipe Naasson da Silva. **Análise do maciço de uma barragem de terra com filtro**. Orientador: Maria Danúbia Teixeira Silva. 2018. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2018. Disponível em: <[encurtador.com.br/syNU7](http://encurtador.com.br/syNU7)>. Acesso em: 16 set. 2021.

GOMES, Matheus de Oliveira; TEIXEIRA, Rafael Lemos. **Análise e desenvolvimento de projeto construtivo de uma pequena barragem de terra no Córrego da Cava – Morrinhos/GO, com foco na segurança**. Orientador: Arlam Carneiro Silva Júnior. 2017. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2017. Disponível em: <[https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/126/3/tcc\\_Matheus%20Gomes\\_Rafael%20Teixeira.pdf](https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/126/3/tcc_Matheus%20Gomes_Rafael%20Teixeira.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2021.

MARANGON, Marcio. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Barragens de Terra e Enrocamento, Cap 5, 2004.

MASSAD, Faiçal. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216p.

MEDEIROS, Carlos Henrique de AC. **Curso de Segurança de Barragens 2020**. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2179>>. Acesso 19 set. 2021.

SALINAS, João Vitor. **Estudo dos processos construtivos e das patologias de açudes e barragens geotécnicas de pequeno porte**. Orientador: Wilber Chambi Tapahuasco. 2017. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017. Disponível em: <<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1985/1/Jo%c3%a3o%20Vitor%20Salinas%20-%202017.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2021.

SANTOS, Wesley Artur Mariz. **Estudo das condições gerais da barragem de Itans no município de Caicó / RN**. Orientador: Marcilene Vieira da Nóbrega. 2019. 58 f. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, Campus Angicos, Angicos, 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2386/2/WesleyAMS\\_MONO.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2386/2/WesleyAMS_MONO.pdf)> . Acesso em: 08 maio 2021.

STEPHENS, Tim. **Manual sobre pequenas barragens de terra: Guia para a localização, projecto e construção**. 2011. 120p. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/ba0081o/ba0081o.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2021.

TANUS, Henrique Moraes. **Importância da Inspeção na Prevenção de Falhas em Barragens: Estudo de Caso**. Orientador: Jorge dos Santos. 2018. 103 p. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023356.pdf>>. Acesso em: 6 maio 2021.

TIMBÓ, Rafael Delmiro Rodrigues. **Aplicação da Lei de Segurança de Barragem - Estudo de caso da barragem Cigana 01, Amajari - Roraima**. Orientador: Silvestre Lopes da Nóbrega. 2018. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2018. Disponível em: <[https://ufrr.br/engcivil/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=203:tcc-rafael-timbo-2017-2&id=28:tcc-2017&Itemid=336](https://ufrr.br/engcivil/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=203:tcc-rafael-timbo-2017-2&id=28:tcc-2017&Itemid=336)>. Acesso em: 6 maio 2021.

World Commission On Dams (WCD), Dams and Development. **A new framework for decision making, Report of the World Commission on Dams**, Earthcan, Londres, GB, 2001. Acesso em: 16 set. 2021.

ZUFFO, Monica Soares Resio. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens**. Orientadora: Ana Inés Borri Genovez. 2005. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=464734>>. Acesso em: 24 fev. 2021.