

Análise das Anomalias Identificadas em uma Barragem de Rejeito Localizada no Estado do Pará

Beatriz Borges Barbosa

Engenheira Civil, Faculdade Arnaldo, Belo Horizonte, Brasil, beatrizborgesbarbosa3@gmail.com

Márcio F. Leão

Geólogo-Geotécnico, Tractebel/UFV, Belo Horizonte, Brasil, marciotriton@hotmail.com

RESUMO: As barragens de rejeito são estruturas utilizadas para armazenar resíduos gerados pela mineração. Quando essas estruturas são mal projetadas, construídas ou operadas podem vir, em casos extremos, a romper. O presente artigo objetivou analisar anomalias identificadas durante as inspeções em uma barragem de rejeito localizada no Pará. A metodologia buscou identificar as principais causas raízes das anomalias com base na experiência profissional dos autores e análise crítica das fichas de inspeção. Essas anomalias foram agrupadas de acordo com o seu tipo. Observou-se uma relação entre o padrão sazonal de pluviometria e a ocorrência de anomalias. Os meses com maior volume de precipitação, de dezembro a maio, apresentaram um aumento expressivo nas anomalias de falha na proteção dos taludes, erosões e vegetação alta. Isso ressalta a necessidade de medidas preventivas e monitoramento adequado durante esses períodos para garantir a segurança da barragem, destacando a necessidade de manutenção preventiva e corretiva com base nas informações coletadas durante as inspeções de campo. Conclui-se que é crucial implementar medidas para melhorar a proteção dos taludes, garantir a limpeza e integridade das canaletas de drenagem, e assegurar uma manutenção adequada dos drenos e identificação dos instrumentos.

PALAVRAS-CHAVE: Anomalias, Inspeção regular, Barragem.

ABSTRACT: Tailings dams are structures used to store waste generated by mining. When these structures are poorly designed, built or operated they can, in extreme cases, fail. This article aims to analyze anomalies identified during inspections at a tailings dam located in Pará. The methodology sought to identify the main root causes of the anomalies based on the authors' professional experience and critical analysis of the inspection forms. These anomalies were grouped according to their type. A relationship can be observed between the seasonal rainfall pattern and the occurrence of anomalies. The months with the highest volume of transactions, from December to May, showed a significant increase in anomalies involving failure to protect slopes, erosion and high accumulation. This highlights the need for adequate preventive measures and monitoring during these periods to ensure dam safety, highlighting the need for preventive and corrective maintenance based on information collected during field inspections. It is concluded that it is crucial to implement measures to improve the protection of slopes, ensure the cleanliness and integrity of drainage channels, and ensure adequate maintenance of drains and identification of instruments.

KEYWORDS: Anomalies, Regular inspection, Dam.

1 INTRODUÇÃO

As barragens de rejeito são estruturas utilizadas para armazenar resíduos gerados pela mineração. Quando essas estruturas são mal projetadas, construídas ou operadas podem vir, em casos extremos, a romper. De acordo com Fernandes (2020), o cenário de ruptura tem sido mais frequente do que o esperado, sendo em média dois eventos por ano. Nesse sentido a detecção precoce de anomalias em barragens de rejeito são essenciais para prevenir desastres e garantir a segurança da estrutura. A inspeção de campo é uma etapa fundamental para a detecção e correção de anomalias, devendo ser realizada periodicamente para identificar possíveis anomalias, como trincas, erosões e deslizamentos, que podem comprometer a estabilidade da estrutura da barragem.

A inspeção de campo é importante não só para a detecção de anomalias, mas também para a avaliação da eficácia das medidas corretivas adotadas. A manutenção preventiva e corretiva da barragem deve ser realizada com base nas informações coletadas durante as inspeções de campo.

Dessa forma, devido a importância da inspeção de campo para detecção de anomalias, esse estudo baseou-se na análise das anomalias identificadas durante as inspeções em uma barragem de rejeito localizada no estado do Pará, ao longo do período de um ano, visando identificar as principais causas para a ocorrência dessas anomalias

2 CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM

A barragem em estudo está localizada na região norte do país, no estado do Pará. Sua construção teve início no ano de 2007 e conclusão em 2009 tendo por finalidade receber o rejeito em forma de polpa da usina, espessar e recircular a água sobrenadante para o sistema de beneficiamento. O rejeito espessado nessa barragem é dragado para outras barragens que formam depósitos definitivos de rejeito e a água liberada durante o processo de secagem do rejeito é enviada de volta para a barragem de espessamento por meio de bombas flutuantes. Na Figura 1 é apresentado o fluxograma geral de operação da estrutura.

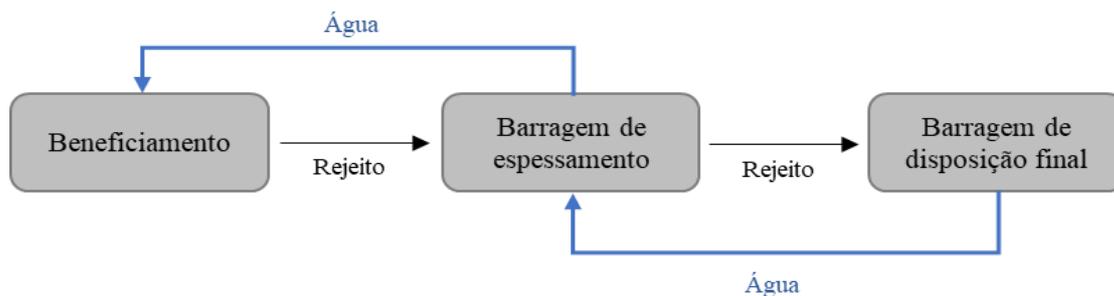


Figura 1. Sistema de disposição de rejeitos.

O projeto da estrutura contempla um reservatório de grande dimensão, com o fundo escavado e sistema de contenção formado por diques em solo compactado, no qual, tanto os diques quanto o fundo são providos de impermeabilização implantada com solo compactado. Os diques da estrutura (diques A, B, C e D) foram projetados para atingir 10 m de altura em toda sua extensão. Os taludes foram projetados com inclinações de 2,0H:1V e 2,2H:1V considerando, na geometria, a implantação de drenos internos verticais e horizontais em três dos quatro diques pertencentes à estrutura.

O sistema extravasor do tipo soleira livre está instalado no dique B, sendo constituído de concreto sob uma camada de concreto magro e é composto por um trecho de emboque, com 9,40 m de comprimento e declividade aproximadamente nula, seguido por um trecho em degraus com declividade aproximada de 50% e desnível com cerca de 10,0 m.

2.1. Dique A

O dique A delimita duas barragens, a barragem em estudo e uma barragem de disposição final, não sendo previstos drenos. No início do dique fica presente a tubulação que desagua o rejeito em polpa proveniente da usina. A seção tipo desse dique é mostrado na Figura 2.

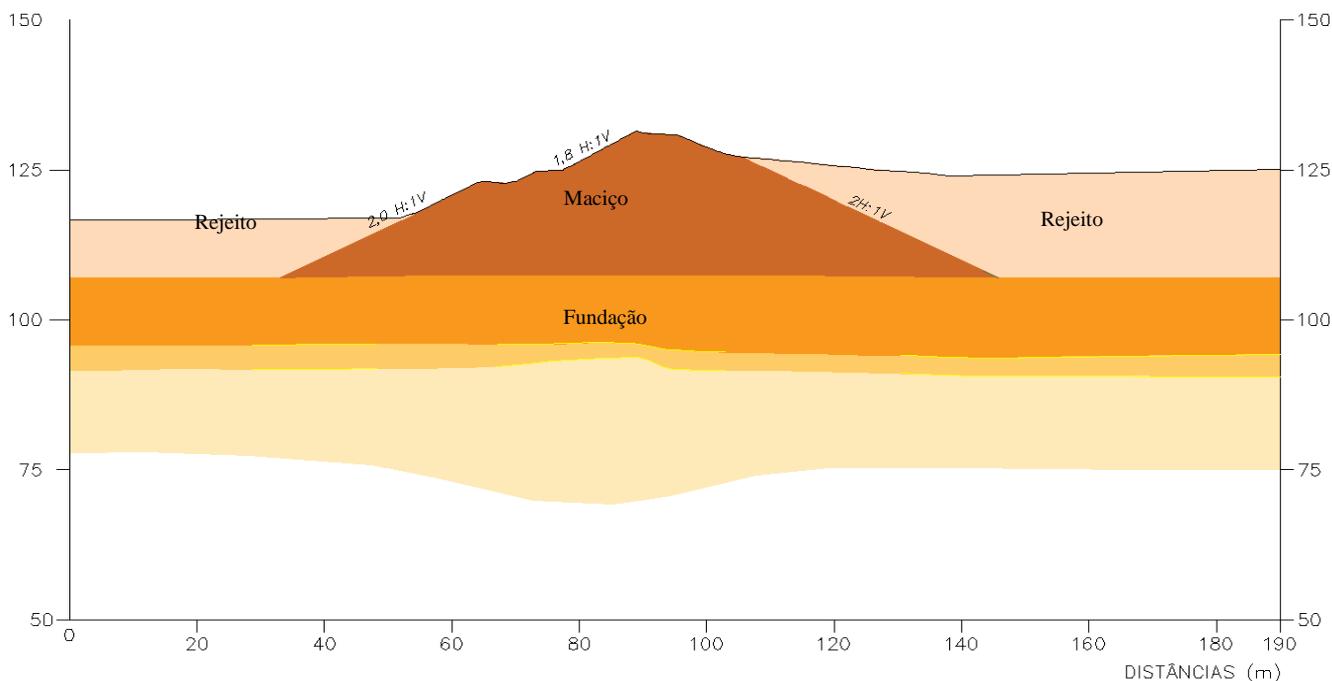


Figura 2. Seção tipo Dique A (altura 10 m).

2.2. Diques B, C e D

Apesar dos diques B, C e D possuírem a mesma seção tipo cada um dos diques possui algumas particularidades entre si. No dique B está instalado o sistema extravasor, as tubulações que recebem a água sobrenadante das barragens de disposição final e a tubulação de retorno de água para a usina. No dique B e C estão presentes em toda a crista e pé do talude canaletas de concreto. Na crista as canaletas direcionam o fluxo para o interior do reservatório através de tubos de PVC. Os taludes jusantes possuem revestimento vegetal e os taludes montante revestimento laterítico. O dique D possui canaleta de concreto apenas na crista e em setembro de 2022 o revestimento do talude jusante que era formado por proteção vegetal foi substituído por revestimento laterítico. Os diques B, C e D possuem a mesma seção tipo, representada pela Figura 3.

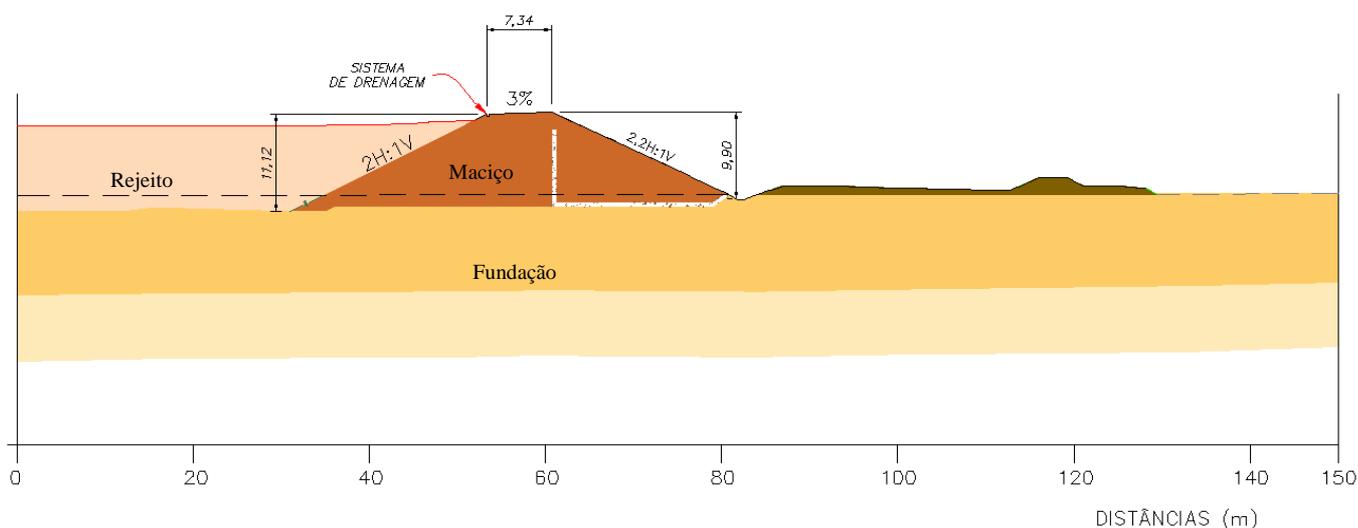


Figura 3. Seção tipo Dique B, C e D (altura 10 m).

3 METODOLOGIA

Esse estudo consistiu em uma análise das anomalias (Quadro 1) registradas por meio das fichas de inspeção regular de uma barragem, abrangendo o período de março de 2022 a fevereiro de 2023. As fichas de inspeção analisadas seguiram as diretrizes estabelecidas pela Resolução nº 95 da Agência Nacional de Mineração, que inclui o Quadro do Estado de Conservação. A ficha é dividida de acordo com os diques que compõem a estrutura, sendo que cada dique é subdividido em: talude montante, talude jusante e crista. Além disso, são avaliadas as anomalias relacionadas à instrumentação e ao vertedouro.

Quadro 1 – Anomalias apresentadas na ficha de inspeção.

A	Talude Montante
1	Falha na proteção
2	Erosões
3	Afundamentos e buracos
4	Presença de árvores e arbustos
5	Trincas
6	Formigueiros ou cupinzeiros
B	Crista
1	Falha na proteção
2	Afundamentos e buracos
3	Presença de árvores e arbustos
4	Deformidade nas Leiras
5	Trincas
6	Formigueiros ou cupinzeiros
7	Canaletas quebradas ou obstruídas
C	Talude Jusante
1	Falha na proteção
2	Vegetação alta
3	Erosões
4	Afundamentos e buracos
5	Presença de árvores e arbustos
6	Formigueiros ou cupinzeiros
7	Canaletas quebradas ou obstruídas
8	Surgência
9	Dreno de pé obstruído
D	Instrumentação
1	Acesso precário aos instrumentos
2	Instrumento sem identificação
3	Base do instrumento danificada
4	Instrumento entupido
E	Vertedouro
1	Obstrução ou entulhos
2	Presença de árvores e arbustos
3	Erosões nos taludes
4	Erosão na base do canal escavado
5	Danos no concreto

As inspeções ocorreram com uma periodicidade menor do que 15 dias, totalizando 24 fichas analisadas. A partir dos resultados buscou-se identificar as principais causas raízes das anomalias com base na experiência profissional dos autores sob a ótica de estruturas dessa natureza.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da análise de acidentes e falhas em barragens foram identificadas que as principais causas de rupturas estão relacionadas a: fundação, capacidade de vazão inadequada dos vertedouros, instabilidade dos taludes, falta de controle e monitoramento de anomalias e inspeção pós-tratamento, além de falta de instrumentos de monitoramento e segurança ao longo da vida útil da estrutura (DUARTE, 2008 apud ICOLD, 2001).

Ao realizar a análise das fichas de inspeção da barragem, identificou-se a presença de diversas anomalias, que foram agrupadas de acordo com o seu tipo. Entre as anomalias observadas, destacou-se a falha na proteção dos taludes contra processos erosivos, que representou uma significativa parcela de 42,0% do total das anomalias identificadas. Além disso, verificou-se que apenas 6 tipos de anomalias específicas compreenderam aproximadamente 94% dos casos analisados. Esses dados indicam a presença de um conjunto reduzido, porém crítico, de tipos de anomalias que requerem uma atenção especial no contexto da segurança da barragem; a Figura 4 apresenta o resultado completo da análise.

Valerius (2014) ressalta que os principais tipos de falhas nas estruturas de disposição de rejeitos são: instabilização de taludes, piping (erosão interna), galgamento e liquefação e desta forma é necessário que exista um conhecimento entre os modos de ruptura e observações identificadas em inspeções buscando melhorar os julgamentos e contribuir de maneira dinâmica nas proposições de soluções.

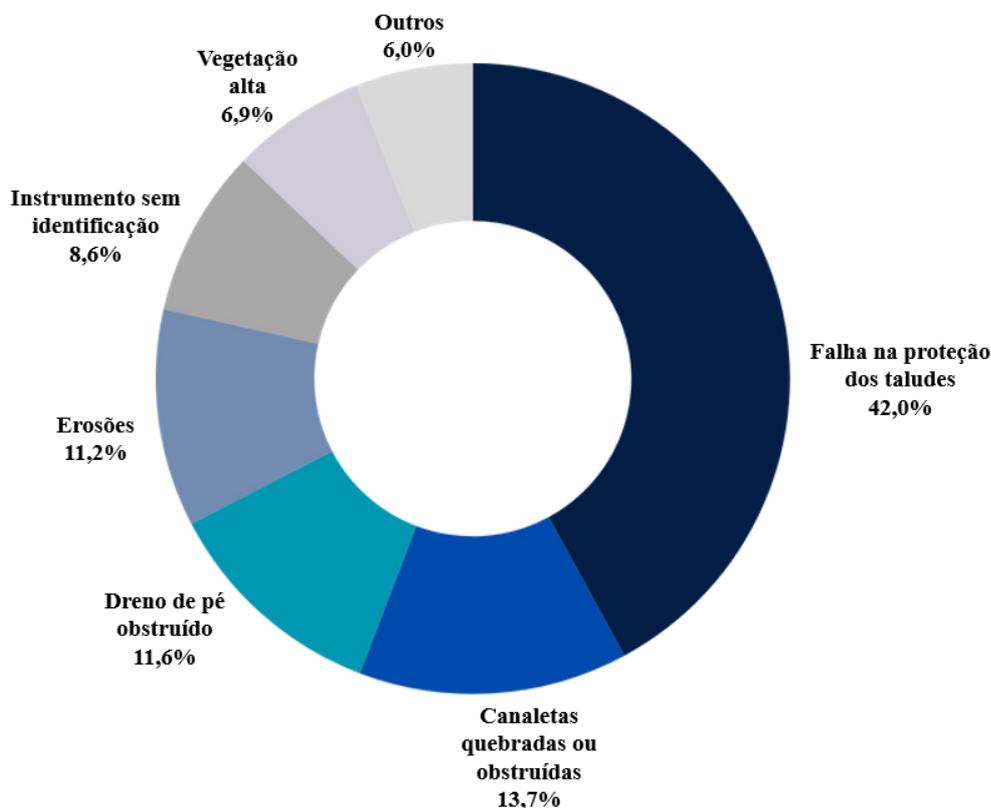


Figura 4. Anomalias identificadas nas fichas de inspeção.

Outra informação extraída das fichas de inspeção é que todas as anomalias observadas na barragem foram de magnitude insignificante ou baixa, não apresentando risco imediato à segurança da estrutura. No entanto, entre as seis anomalias mais registradas, a erosão se destaca como a mais crítica. De acordo com Pereira (2019), anomalias que não são corrigidas em tempo, especialmente a erosão, pode ocasionar sérios danos à estrutura, incluindo ravinamentos e, eventualmente, a ruptura da barragem.

Analisando os tipos de anomalias mais recorrentes na barragem foi possível constatar uma associação significativa entre a ocorrência de anomalias e o padrão sazonal de pluviometria em 50% dos casos. Observou-se que os meses de dezembro a maio, caracterizados pelo maior volume de precipitação, apresentaram um aumento expressivo na incidência de anomalias. Em comparação com os meses de menor precipitação, constatou-se um crescimento de 17,8%, 171,4% e 200,0%, respectivamente, para as anomalias identificadas como falha na proteção dos taludes, erosões e vegetação alta.

Além das anomalias previamente mencionadas, outra questão recorrente observada na estrutura em estudo diz respeito ao sistema de drenagem superficial. Cerca de 13,7% das anomalias identificadas estão relacionadas a canaletas quebradas ou obstruídas. A recorrência dessa anomalia possivelmente está associada ao tipo de canaleta utilizado na estrutura, que permite apenas limpeza manual, tornando essa atividade pouco produtiva e sujeita a interrupções. Essas questões também foram observadas por Fernandes (2022). Outro fator relevante destacado nas fichas de inspeção são as frequentes quebras das canaletas devido ao trânsito de equipamentos pesados necessários para as atividades de manutenção das dragas que operam no interior da barragem.

Outro dado analisado foi a localização das anomalias, cujos resultados são apresentados na Figura 5. A obstrução do dreno de pé por vegetação é outra anomalia frequentemente relatada nas fichas de inspeção, indicando uma dificuldade recorrente na manutenção adequada. Essa anomalia foi identificada em todas as inspeções realizadas. No entanto, a partir de setembro de 2022, foi relatada a substituição do material do dreno e nos locais onde a substituição completa do material do dreno foi realizada, a anomalia deixou de ser reportada. Além disso, a ausência de identificação dos instrumentos também foi reportada em todas as inspeções realizadas. A falta de identificação adequada pode ser atribuída ao tipo de material utilizado para esse fim, uma vez que as fichas de inspeção mencionam a substituição rotineira da identificação devido ao desgaste.

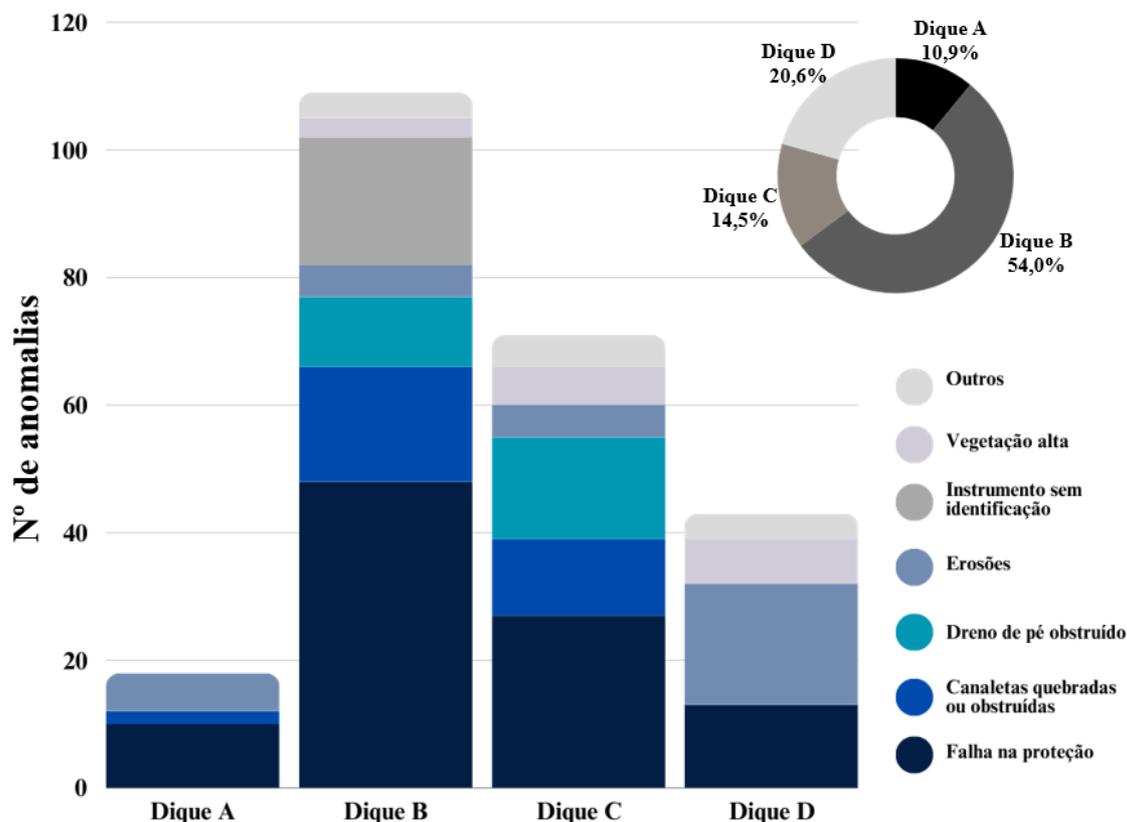


Figura 5. Distribuição das anomalias identificadas.

Constatou-se que o dique B registrou o maior número de ocorrências de anomalias, ultrapassando a marca de 50%. Essa observação pode ser atribuída ao fato de que o dique B abriga o sistema extravasor, bem como as tubulações responsáveis por receber o fluxo de água excedente das barragens de disposição final e pela devolução da água à usina. A presença dessas estruturas e tubulações adicionais pode aumentar a suscetibilidade do dique B a anomalias, destacando-se a falha na proteção do talude e erosões.

Todos os resultados destacam a importância da manutenção preventiva e corretiva com base nas informações coletadas durante as inspeções de campo. É crucial implementar medidas para melhorar a proteção dos taludes, garantir a limpeza e integridade das canaletas de drenagem, e assegurar uma manutenção adequada dos drenos e identificação dos instrumentos (IBRAM, 2019).

Analisando estruturas em regiões semelhantes no Brasil nota-se que ainda existe uma carência de trabalhos que busquem equalizar: a gravidade da anomalia identificada, a urgência da ação sobre a anomalia e qual será a tratativa, em específico considerando a legislação de barragens (PAULA, 2023) na esfera Federal, Estadual e por vezes Municipal. Esse fato ocorre, especialmente quando consideradas estruturas com lagos extensos e confinados em bacias com diques que chegam na ordem de 3 a 10 m de altura (VILELA, 2022; LOPES, 2023), conforme o caso de estudo aqui apresentado.

5 CONCLUSÃO

Este estudo ressaltou a importância da detecção e correção precoce de anomalias em barragens de rejeito como medida fundamental para prevenir desastres e garantir a segurança dessas estruturas. A análise das fichas de inspeção realizadas em uma barragem localizada no estado do Pará revelou que um pequeno grupo de anomalias representam quase que a totalidade das anomalias, sendo a falha na proteção dos taludes o tipo mais frequente.

Observou-se uma relação entre o padrão sazonal de pluviometria e a ocorrência de anomalias. Os meses com maior volume de precipitação, de dezembro a maio, apresentaram um aumento expressivo nas anomalias de falha na proteção dos taludes, erosões e vegetação alta. Isso ressalta a necessidade de medidas preventivas e monitoramento adequado durante esses períodos para garantir a segurança da barragem. Além disso, a análise da distribuição espacial das anomalias revelou que o dique B da barragem foi a área mais afetada, concentrando mais da metade das anomalias identificadas. Isso destaca a necessidade de atenção especial e a implementação de medidas preventivas e corretivas específicas nessa região da barragem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Mineração (ANM). Resolução Nº 95, de 07 de fevereiro de 2022.
- Lopes, A. F. (2023). Análise de uma barragem tipo pond na região de Poconé/MT. Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Pós-graduação em Geotecnia e Segurança de Barragens e Pilhas) - Faculdade Arnaldo.
- Paula, A. H. (2023). Projeto de descaracterização de uma Bacia de Contenção de Rejeito em Poconé/MT - Estudo de Caso. Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Pós-graduação em Geotecnia e Segurança de Barragens e Pilhas) - Faculdade Arnaldo.
- Duarte, A. P., 2008 apud ICOLD, 2001. Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco. Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte. MG. 2008.
- Fernandes, R. B. (2020). Metodologia para gestão de risco em barragens a partir de árvore de eventos e análise FMEA. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Fernandes, R. B. (2022) Inspeção, monitoramento e estabilidade de barragens, Volume II. 1. Ed. – Curitiba. PR. Appris, 2022.
- Instituto Brasileiro De Mineração – IBRAM (2019). Guia de Boas Práticas: Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos. Brasília. DF.

- Vilela, K. (2022) Estudo de uma Barragem Tipo Pond Presente em Poconé/MT. Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Pós-graduação em Geotecnia e Segurança de Barragens e Pilhas) - Faculdade Arnaldo.
- Pereira, Lucas Mazullo Mascarenhas. Avaliação das condições de manutenção e segurança de barragens no interior do estado do Rio Grande do Norte. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- Valerius, M. B. Cadastro E Análise Do Potencial De Risco Das Barragens De Rejeitos De Mineração Do Estado De Goiás. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. DF. 2014.