

## MODELAGEM PARA CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO RISCO DE PATOLOGIAS EM BARRAMENTOS

AFONSITA ESCOLÁSTICA DE ARAÚJO TOLÊDO<sup>1</sup>, TÚLIO MEIRELLES PINHEIRO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Esp. em Saneamento, Goiânia-GO, afonsitatoledo@gmail.com;

<sup>2</sup>Esp. em Construção Sustentável, Prof. UniAraguaia, Goiânia-GO, tulio.meirelles@uniaraguaia.edu.br ;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2022

**RESUMO:** Em consequência dos desastres ocorridos no Brasil nos últimos anos envolvendo barramentos, foram necessárias alterações nas legislações pertinentes, sendo uma delas a Lei n. 14.066/2020, que aborda a necessidade de instrumentos mais eficientes quanto à segurança das barragens, visando garantir maior proteção ambiental e às pessoas que vivem à jusante ou nas áreas de influência dos barramentos. O presente artigo teve como objetivo desenvolver uma modelagem com intuito de avaliar e classificar alguns barramentos quanto ao grau de risco existentes devido as manifestações patológicas, por meio de uma matriz de avaliação de risco. A metodologia foi pautada em estudos de casos para a identificação das manifestações patológicas, onde realizou-se a Inspeção de Segurança Regular (ISR), juntamente com a técnica de caminhar sobre os taludes, crista e toda estrutura em diferentes direções, observando todas as zonas da barragem, sempre registrando as possíveis modificações visíveis. Foram, ainda, realizadas pesquisas e leituras de revisões bibliográficas, incluindo as legislações referentes à segurança de barragens, levantamentos de campo das condições das estruturas de cunho quantitativo e qualitativo, obtendo dados para construção da matriz objeto deste estudo. As matrizes foram criadas utilizando o Anexo C do Manual de Inspeção e Segurança de Barragens (MSIB) como parâmetro, descrevendo a localização e cada tipo de patologia que possa vir a ocorrer em barramentos de terra. Os barramentos utilizados na análise foram nomeados como Barramentos A, B, C, D e E, e obtiveram, após a classificação da matriz proposta os seguintes resultados, respectivamente: alto, alto, baixo, alto e alto. Apurou-se que a matriz criada trouxe resultados que endossavam a classificação das barragens, quanto ao risco e dano potencial associado (DPA) e classificação de risco (CRI), conforme estipulado pelo Anexo II, da Resolução 143/2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Concluiu-se que os resultados gerados pela matriz proposta, sugerem mais testes de campo e calibração, porém já podem servir e auxiliar profissionais de engenharia nas tomadas de decisões quanto ao monitoramento dos barramentos e nas possíveis intervenções para correção das manifestações patológicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Riscos em Barragens; Taludes de Barramentos; Avaliação de Riscos

### MODELING FOR CLASSIFICATION AND ASSESSMENT OF THE RISK OF PATHOLOGIES IN BUSES

**ABSTRACT:** As a result of the disasters that have occurred in Brazil in recent years involving buses, changes were necessary in the relevant legislation, one of which was Law n. 14,066/2020, which brings in its implementation and updating requirements that endorse the need for more efficient instruments, with regard to dam safety, aiming to guarantee greater environmental protection and safety for people who live downstream or in the areas of influence of the dams. This article aimed to develop a model in order to evaluate and classify some buses as to the degree of risk due to pathological manifestations, through a risk assessment matrix. The methodology was based on case studies for the identification of pathological manifestations, where the Regular Safety Inspection (ISR) was carried out, together with the technique of walking on the slopes, crest and the entire structure in different directions, observing all areas of the dam, always recording the possible visible changes. Research and readings of bibliographic reviews were also carried out, including legislation related to dam safety, field surveys of the conditions of the structures of a quantitative and qualitative nature, obtaining data for the construction of the matrix object of this study. The matrices were created using

Annex C of the Dam Inspection and Safety Manual (MSIB) as a parameter, describing the location and each type of pathology that may occur in earth bars. The buses used in the analysis were named Buses A, B, C, D and E, and obtained, after classifying the proposed matrix, the following results, respectively: high, high, low, high and high. It was found that the matrix created brought results that endorsed the classification of dams, in terms of risk and associated potential damage (DPA) and risk classification (CRI), as stipulated by Annex II, of Resolution 143/2012 of the National Council of Resources Hydropower (CNRH). It was concluded that the results generated by the proposed matrix suggest more field tests and calibration, but they can already serve and help engineering professionals in decision making regarding the monitoring of buses and possible interventions to correct pathological manifestations.

**KEYWORDS:** Risks in Dams; Dams Slopes; Risk assessment.

## INTRODUÇÃO

A Lei Federal 14.066/2020, alterou a Lei Federal 12.334/2010 e criou a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA) e, ainda, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). As mudanças foram necessárias levando em consideração que a lei foi criada a partir da necessidade de se estabelecer políticas para fiscalização e segurança de barramentos quando dos primeiros desastres envolvendo o rompimento de barramentos. A nova legislação também evidenciou a responsabilidade do usuário de um barramento quanto a sua manutenção e responsabilidades civis e criminais.

O Governo de Goiás, por meio do órgão fiscalizador a Secretária de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), criou a Instrução Normativa 01/2020, revogando a Portaria 146/2019, que foi uma pronta resposta após o desastre de Brumadinho/MG, na qual estabeleceu normas e procedimentos que devem ser aplicados à segurança e monitoramento de barramentos instalados ou a serem instalados no Estado de Goiás (GOIÁS, 2020). Nesse contexto, muitas mudanças têm ocorrido em relação ao gerenciamento de risco e monitoramento de barramentos, onde se sabe que um dos maiores riscos para essas estruturas são as manifestações patológicas ou anomalias que podem ocorrer.

De acordo com Manual de Inspeção e Segurança de Barragens (MSIB), “a barragem deve ser cuidadosamente vistoriada, em busca de quaisquer evidências de deslocamento, rachaduras, sumidouros, nascentes, pontos molhados, erosão superficial, buracos de animais, vegetação etc.” (MSIB, 2002, p.65).

Diante de tantas mudanças e evolução quando se trata de Engenharia de Barragens, o presente estudo teve por objetivo desenvolver uma modelagem que avalie e classifique os barramentos quanto ao grau de risco existentes devido as manifestações patológicas, por meio de uma matriz de avaliação e classificação, que possa complementar o modelo utilizado DPA- Dano Potencial Associado e CRI- Classificação quanto ao Risco.

Utilizando dados de inspeções realizadas em alguns barramentos localizados no Estado de Goiás, quantificando, enumerando e avaliando as possíveis manifestações patológicas existentes devido à falta de manutenção ou descuido, os resultados obtidos e as condições relativas à segurança estrutural e operacional das barragens, proporcionou a criação da modelagem proposta, que avalia e classifica os barramentos quanto as manifestações patológicas, resultados estes que o profissional de Engenharia de barragens poderá utilizar para recomendação de reparos corretivos, restrições operacionais e/ou modificações ou o descomissionamento, viabilizando a solução dos problemas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Em busca de alcançar os objetivos almejados nos presentes estudos de casos, foram realizados levantamentos dos itens levados em consideração com o propósito de identificar as manifestações patológicas e os danos, fatores que podem causar o colapso ou acidentes envolvendo barramentos.

Considerando a necessidade de dados que mensurem a quantidade das manifestações patológicas existentes nos barramentos, bem como a qualidade das estruturas, a metodologia qualitativa colabora com a elaboração da modelagem, conforme explica Del Bianco (2016, p. 30): “tem como base analisar fenômenos transitórios que não podem ser explicados pela regularidade; ou para entender uma ação coletiva. e capaz de atender os resultados”. A quantitativa, por sua vez, se faz

necessário devido a necessidade de elaborar procedimentos de construção de amostragem para que se possa generalizar os resultados.

Visando um estudo direcionado com intuito de alcançar resultados satisfatórios, foi realizada uma revisão bibliográfica e documental, que serviu de embasamento para a elaboração da modelagem de classificação das manifestações patológicas existentes e o grau de risco de cada barramento analisado.

O estudo foi realizado em diferentes localizações, sendo todas dentro dos limites do Estado de Goiás. Os cinco barramentos analisados, que serviram como fonte de dados, foram nomeados de Barramentos A, B, C, D e E. Esses barramentos possuem construção antiga, sem projetos e todos foram diagnosticados com presença de manifestações patológicas por profissionais da Engenharia Civil.

A melhor forma de identificação das manifestações patológicas em uma barragem é uma Inspeção de Segurança Regular (ISR). In casu, utilizou-se o registro fotográfico e a técnica de caminhar sobre os taludes e a crista em diferentes direções, para observar todas as zonas da barragem, sempre registrando as possíveis modificações visíveis que tenha ocorrido ou, até mesmo, esteja ocorrendo, como o crescimento de árvores no talude, sinais de trincas ou fissuras, identificação de percolação ou surgência de pontos úmidos.

Quanto ao maciço, tomou-se uma distância para visualização, buscando analisar sua superfície visível, com intuito de identificar pequenos deslocamentos ou uniformidades em todos os elementos da barragem e possíveis manifestações patológicas.

Depois da realização das inspeções, visando garantir uma melhor análise e detalhamento dos dados colhidos, dividiu-se a estrutura das barragens em cinco partes, sendo elas: talude à montante (TM); talude à jusante (TJ); crista (C); extravasor de soleira livre (E) e estrutura do reservatório (ER). Dessa maneira a identificação de cada manifestação foi analisada separadamente, buscando um melhor diagnóstico com dados mais precisos quanto ao detalhamento de cada estrutura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado das matrizes DPA e CRI, responsáveis pela classificação do grau de risco para as barragens de acumulação de água, serviu como parâmetros para a elaboração da matriz de classificação, conforme os Quadros 1 e 2 com resultado da classificação quanto ao DPA do barramento E, fazem parte do Anexo II da Resolução n. 143 de 2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) disposto nos Apêndices deste trabalho.

Para construção da matriz, a utilização dos resultados das matrizes quanto ao dano potencial (DPA) e quanto a categoria de risco (CRI) exerceu papel fundamental, utilizando-se dos resultados dos cinco barramentos conforme classificação do barramento A, descrita no Quadro 1.

**Quadro 1.** Matriz de Classificação do Barramento A (Autor, 2021)

CATEGORIA DE RISCO (CRI)	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	A	C	D
BAIXO	A	D	D

Utilizou-se a ferramenta de planilha eletrônica para inserção dos dados, quantificando-os a partir de valores (de 0 a 4) e, por fim, relacionou-se as possíveis manifestações patológicas que podem ocorrer em cada parte da estrutura. Para concluir a matriz de manifestações patológicas, os valores das cinco matrizes foram somados (TM+TJ+C+E+ER), totalizando um coeficiente final, denominado resultado da análise das patologias.

A partir dos dados dos cinco barramentos, foi gerado os resultados quanto as condições estruturais de cada uma delas, conforme disposto no Quadro 2 que apresenta a classificação da análise de risco quanto as manifestações patológicas do Barramento E. Ressalta-se que a análise dos demais barramento constam nos Apêndices A, B, C, D e E.

**Quadro 2.** Resultado da análise das patologias Barramento E (Autor, 2022)

RESUMO DA ANÁLISE DAS PATOLOGIAS – BARRAMENTO E		
PLANILHA	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	PONTOS
1	Talude à montante (TM)	15
2	Talude à jusante (TJ)	27
3	Crista (C)	13
4	Extravasor (E)	5
5	Estrutura do reservatório (ER)	5
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (MP) = TM+J+C+E+ER</b>		<b>65</b>

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	RISCOS PATOLÓGICOS	FAIXA
	ALTO	>60
	MÉDIO	35 a 60
	BAIXO	<35
<b>RESULTADO DA ANÁLISE</b>		<b>ALTO</b>

Os dados obtidos com o preenchimento da matriz de manifestações patológicas foram: Barramento A: Risco Alto; Barramento B: Risco Alto; Barramento C: Risco Baixo; Barramento D: Risco Alto; e Barramento E: Risco Alto, conforme Quadro 6. Todos os resultados encontram-se nos Apêndices, descrevendo cada análise juntamente com memorial fotográfico utilizado.

Observou-se que os valores obtidos no preenchimento são bem semelhantes a classificação quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) e Classificação quanto do Risco (CRI), o que já era esperado, considerando a utilização dos parâmetros dessas matrizes como base de dados.

O intuito da matriz proposta é o diagnóstico das manifestações patológicas de forma mais detalhada e precisa, possibilitando sua utilização como complemento para as matrizes de risco já utilizadas. De tal forma, a análise realizada na estrutura por partes, garantiu identificar danos que, em muitos casos, talvez ainda possam ser recuperados ou estabilizados, de maneira que garantam a segurança da estrutura.

Um bom diagnóstico e uma avaliação profissional adequada nas estruturas de um barramento evitam problemas. Tratando-se do barramento E, o primeiro diagnóstico resultou em um parecer indicando o seu descomissionamento. O proprietário buscou um diagnóstico de outro profissional e optou por reparos nas estruturas de percolação, com implantação de mantas geotêxteis e tubos corrugados, a fim de direcionar, controlar e avaliar as percolações e surgências como possíveis medidas mitigatórias do risco de colapso. Após, realizou-se uma nova avaliação, utilizando a técnica de caminhar sobre as estruturas e avaliar cada parte e foi possível identificar que as intervenções realizadas deram sobrevida ao barramento.

## CONCLUSÃO

A matriz de classificação de manifestações patológicas obteve um resultado satisfatório, levando em consideração que os resultados obtidos por meio desta pesquisa ficaram bem próximos dos resultados das matrizes de DPA e CRI, provando a sua funcionalidade quanto ao diagnóstico.

Dessa forma, diante dos resultados conclui-se que a utilização desta matriz, juntamente com as matrizes de DPA e CRI, tende a agregar e servir ao profissional de Engenharia de Barragens para tomada de decisões. Ainda, visando obter uma melhor estruturação da matriz, recomenda-se realizar mais testes, além de melhorar sua automatização e simplificar o conteúdo, fazendo que se torne mais enxuta e funcional.

O intuito da matriz é o aprimoramento de outras já existentes, servindo para análise das manifestações patológicas e criação de dispositivos que possam auxiliar aos profissionais da engenharia na tomada de decisões. Sua calibração é essencial, sendo necessário realizar mais testes, usando estrutura de barramentos que não possuam manifestações patológicas e estruturas que tenham projeto e dispositivos de segurança, comparando o resultado gerado com as matrizes de DPA e CRI.

## AGRADECIMENTOS

À Deus.

Ao meu amado esposo, Elias Anacleto de Tolêdo Júnior e a meus filhos Carolina de Cássia de Tolêdo e Enzo Gabriel de Tolêdo.

Ao meu pai, Antônio da Paixão de Araújo (in memoriam).

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Brasília-DF. Disponível em: <<https://legis.senado.leg.br/norma/32831491>> Acesso em: 06/03/2022.

BRASIL. Lei n. 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. Brasília, 2010.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução N. 143, de julho de 2012a. Brasília, DF, jul. 2012. Disponível em: < <http://www.cnrh.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de-2012/file>>. Acesso em: 08/04/2022.

DEL Bianco, Nélia. Métodos e técnicas de pesquisa. Goiânia: NUTEC, 2016.105p.

GOIÁS. Instrução Normativa n. 001/2020- SEMAD – Mai/2020. Segurança de Barragens. Disponível em:< [https://www.meioambiente.go.gov.br/files/Arquivos\\_2020/IN01-2020.pdf](https://www.meioambiente.go.gov.br/files/Arquivos_2020/IN01-2020.pdf)> Acesso em:06/04/2022

MSIB. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens-2012. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2012. 148p.