

Classificação das barragens fora do leito (barragens “off-stream”) no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco e potencial de dano ambiental

Classification of off-stream dams in the state of Minas Gerais in relation to potential risk and potential for environmental damage

Clasificación de las represas fuera de la corriente (represas “off-stream”) en el estado de Minas Gerais en relación com el riesgo potencial y el potencial de daño ambiental

Recebido: 26/09/2022 | Revisado: 09/10/2022 | Aceitado: 11/10/2022 | Publicado: 15/10/2022

Heitor Soares Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4546-8390>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: hsmengenheiro@yahoo.com.br

Kátia Soares Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8724-3133>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: katiasoaresmoreira@hotmail.com

Paulo Eduardo de Oliveira Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0297-6109>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: pauloplanalto@yahoo.com.br

Resumo

O aumento da demanda pelo uso da água vem ocasionando sérios problemas ambientais e conflitos entre os usuários. Os reservatórios fora do leito hídrico, comumente denominados de “Piscinões”, tem se apresentado como uma prática comum para manutenção da agricultura irrigada no período de estiagem. Durante o período chuvoso e início do período de estiagem, o usuário de recursos hídricos faz uma captação de água superior à sua necessidade com o objetivo de armazenar os recursos hídricos e utilizá-los no período de menores vazões nos rios. Para a gestão mais eficiente da segurança dessas estruturas hidráulicas, é importante o conhecimento do real impacto que os atuais reservatórios fora do leito podem causar ao meio ambiente e as pessoas que vivem em seu entorno. Os órgãos fiscalizadores de barragens têm absorvido essa competência, em particular o Igam em Minas Gerais, mas sem uma definição de quais reservatórios devem ser mais atentamente acompanhados. Inseridos neste contexto, foram encontrados na literatura técnica métodos, metodologias e ferramentas capazes de mensurar o valor do risco por meio de indicadores e adotado a metodologia de Potencial Dano Ambiental. O presente trabalho, adotou a metodologia de Potencial Risco proposto pela COGERH e a de Potencial Dano Ambiental proposto pela FEAM. Conclui-se que as ferramentas podem ser adotadas para uma classificação dos reservatórios-piscinões, contudo existem espaço para melhorias e uma melhora na gestão dessas estruturas hídricas.

Palavras-chave: Reservatórios-piscinões; Potencial dano ambiental; Potencial de risco; Segurança hídrica; Segurança de reservatórios piscinões.

Abstract

The increase in demand for water use has caused serious environmental problems and conflicts between users. Reservoirs off-stream the water bed, commonly called “Piscinões”, have been presented as a common practice for maintaining irrigated agriculture in the dry season. During the rainy season and the beginning of the dry season, the user of water resources captures more water than he needs in order to store the water resources and use them in the period of lower flows in the rivers. For a more efficient management of the safety of these hydraulic structures, it is important to know the real impact that the current pond-reservoirs can cause to the environment and the people who live in their surroundings. Inserted in this context, methods, methodologies and tools capable of measuring the value of risk through indicators were found in the technical literature and the Potential Environmental Damage methodology was adopted. The present work adopted the Potential Risk methodology proposed by COGERH and the Potential Environmental Damage proposed by FEAM. It is concluded that the tools can be adopted for a classification of reservoirs-pools, however there is room for improvement and an improvement in the management of these water structures.

Keywords: Reservoirs off stream; Potential environmental damage; Risk potential; Water security; Safety of reservoirs off stream.

Resumen

El aumento de la demanda por el uso del agua ha provocado graves problemas ambientales y conflictos entre los usuarios. Los embalses fuera del lecho de agua, comúnmente llamados “Piscinões”, se han presentado como una práctica común para el mantenimiento de la agricultura irrigada en la estación seca. Durante la temporada de lluvias y el inicio de la temporada seca, el usuario de los recursos hídricos capta más agua de la que necesita para almacenar los recursos hídricos y utilizarlos en el período de menores caudales en los ríos. Para la gestión más eficiente de la seguridad de estas estructuras hidráulicas, es importante conocer el impacto real que los embalses de corriente fuera del cauce pueden causar al medio ambiente ya las personas que viven en su entorno. Los órganos de supervisión de represas han absorbido esta competencia, en particular Igam en Minas Gerais, pero sin una definición de qué embalses deben ser monitoreados más de cerca. Insertado en este contexto, se encontraron en la literatura técnica métodos, metodologías y herramientas capaces de medir el valor del riesgo a través de indicadores y se adoptó la metodología de Daño Ambiental Potencial. El presente trabajo adoptó la metodología del Riesgo Potencial propuesta por la COGERH y la del Daño Ambiental Potencial propuesta por la FEAM. Se concluye que las herramientas pueden ser adoptadas para una clasificación de embalses-piscinas, sin embargo existe margen de mejora y mejora en la gestión de estas estructuras hídricas.

Palabras clave: Embalses-pozas; Daño ambiental potencial; riesgo potencial; Seguridad hídrica; Seguridad de los embalses de piscinões.

1. Introdução

Recentes acidentes envolvendo reservatórios fora do leito vêm despertando a atenção para estas estruturas, que crescem cada vez mais com o aumento da produção agrícola e industrial, em Minas Gerais. As atividades econômicas de destaque em Minas Gerais são agricultura irrigada e mineração (Silva et al., 2021; Guimarães; Morais, 2018). Assim, no estado como um todo, existe uma significativa demanda sobre os recursos hídricos. Segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), em Minas Gerais, as regiões que apresentam menor grau de segurança hídrica no estado estão localizadas, principalmente, nas porções norte e noroeste.

Para atenuar os problemas advindos do conflito pelo uso da água e escassez hídrica, os reservatórios fora do leito, também denominados de Piscinões e reservatórios *Off Stream*, tem se tornado uma alternativa para o uso nos períodos mais críticos (Millington, 2021; Silva; Porto, 2014). Os reservatórios fora do leito proporcionam ao usuário de recurso hídrico, reservar a água captada no período das cheias e utilizar no período de estiagem, quando as vazões nos cursos hídricos diminuem consideravelmente. Essas estruturas hidráulicas, são projetados em meio aos pomares, ocupando uma área até então produtiva, sem interferir no curso dos rios ou afetar áreas de preservação permanente. A escolha do ponto também considera a otimização da distribuição da água para o sistema de irrigação.

Entretanto, a construção desses reservatórios sem critérios técnicos, sobretudo utilizando a compactação de terras nas estruturas de fundação e de operação, deixa-os susceptíveis a rupturas e desabamentos, causando danos econômicos e ambientais ao entorno. A Lei Federal 12.334/2010 alterada pela Lei Federal nº 14.066/2020 (Brasil, 2020), que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens no Brasil, assim como, suas regulamentações em âmbito do estado de Minas Gerais, contempla as barragens fora do leito (*off-stream*) dentro do conceito de barragens. De acordo a Lei nº 14.066/2020 (Brasil, 2020), em seu Art. 2º, Inciso I, a definição de barragem é: “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”

Diante de rompimento dessas estruturas, sobretudo no noroeste do estado, o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG), ajuizou Ação Civil Pública (ACP) nº 5014022- 05.2019.8.13.0024 que antecipou os efeitos da tutela para determinar que o Estado de Minas Gerais e o Igam se abstenham de analisar outorga para o uso de águas em que haja a construção de reservatórios fora do leito sem a apresentação dos projetos hidráulicos, das anotações de responsabilidade técnica e dos planos de funcionamento e segurança dessas construções civis. Por outro lado, a Portaria Igam nº 18 de 2019 (Minas Gerais, 2019), dispõe sobre cadastro de reservatórios de água, conforme determinação judicial exarada nos autos do Processo nº 5014022-

05.2019.8.13.0024. Contudo, os órgãos gestores de recursos hídricos, não estabeleceram regras e procedimentos a serem adotados para a gestão da segurança dessas estruturas hidráulicas. Isso se deve a complexidade e características peculiares das barragens fora do leito quando comparadas as barragens tradicionais.

Neste sentido, a Análise de Risco e Potencial de Dano Ambiental (PDA) dos reservatórios fora do leito pode contribuir para as definições das informações a serem exigidas, regras e procedimentos adotados pelos órgãos competentes. A título de informação, a classificação das barragens de contenção de rejeitos, de resíduos industriais e de acumulação de água associadas a processos industriais ou de mineração quanto ao PDA proposto pelo Decreto Estadual nº 48.140/2021 (Minas Gerais, 2021a) é uma forma indireta de avaliar a magnitude dos impactos socioeconômico e ambiental causados por um possível acidente em uma barragem. Quanto a Análise de Risco, metodologia da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) (Ceará, 2021), considera-se aspectos de Periculosidade, Vulnerabilidade e Importância Estratégica fornecendo uma ferramenta adicional para subsidiar a tomada de decisões quanto ao gerenciamento dessas barragens, permitindo focar a atenção naquelas que apresentarem situação mais crítica quanto ao potencial de risco (Espósito; Duarte, 2010).

Neste sentido, o presente trabalho objetiva avaliar, no que tange o potencial dano ambiental e análise de risco, os três casos de rompimento de reservatório fora do leito que ocorreram em Minas Gerais desde 2018 e estão catalogadas junto ao Igam. Especificamente, objetiva verificar se o PDA proposto no Decreto 48.148/2021 (Minas Gerais, 2021b) e a Análise de Risco metodologia COGERH, podem ser adotadas para gestão da segurança dessas estruturas. Em outras palavras, a proposta de pesquisa é avaliar o Potencial de Risco e de Dano Ambiental dos reservatórios para identificar quais estudos e documentações devem ser exigidos aos responsáveis por essas estruturas e proporcionar ao órgão fiscalizador uma política eficiente de de gestão da segurança dessas estruturas.

2. Metodologia

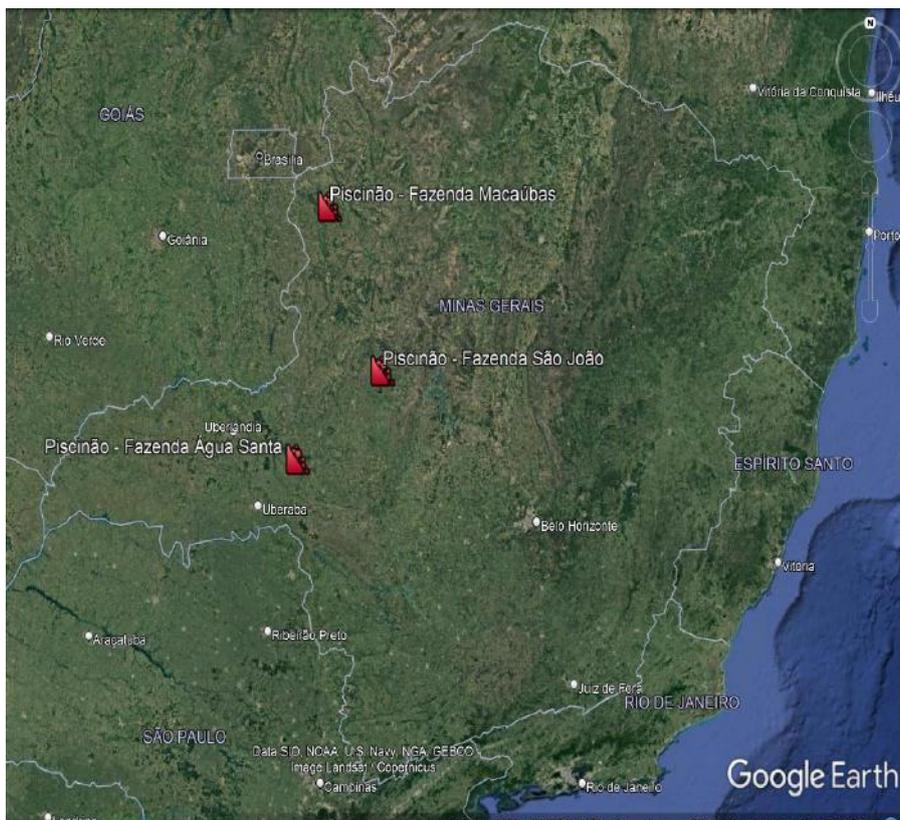
Para o alcance dos objetivos do presente trabalho, serão avaliados os impactos gerados pelos rompimentos das barragens fora do leito nas fazendas Água Santa, Monte Carmelo e Santa Cruz. Para tal serão utilizadas informações contidas em Auto de Fiscalização, Registro de Eventos de Defesa Social (REDS) e Relatórios Técnicos elaborados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e Recursos Hídricos de Minas Gerais (SEMAD).

Serão adotadas as metodologias de classificação das barragens quanto ao Potencial de Dano Ambiental (PDA) proposto no Decreto Estadual nº 48.140/2021 e avaliação do Potencial de Riscos (PR) metodologia da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) para propor a utilização dessas ferramentas na gestão de segurança das barragens fora do leito em Minas Gerais.

2.1 Descrição da Área de Estudo

A área do presente estudo abrange os municípios de Perdizes, Unai e Presidente Olegário, situados nas regiões noroeste, alta Paranaíba e triângulo mineiro, respectivamente, todos no estado de Minas Gerais (Figura 1). Mais precisamente, as fazendas Água Santa, Macaúbas e São João, propriedades rurais onde se situava barragens fora do leito que se romperam e que situação posterior foram atendidas e monitoradas por órgãos do Estado, o que motivou a escolha.

Figura 1: Localização dos Piscinões que romperam em Minas Gerais (Google Earth).



Fonte: Google Earth Pro (2022).

2.1.1 Fazenda Água Santa – Rodovia BR-452 - km 250 Leste – Perdizes/MG

No dia 31 de maio de 2020 ocorreu o rompimento da barragem fora do leito, situada nas coordenadas geográficas $19^{\circ}25'50,50''S$ e $47^{\circ}18'38,18''O$, na Fazenda Água Santa em Perdizes – MG. A estrutura possuía 10 hectares de espelho d'água e aproximadamente 1 milhão de metros cúbicos de volume de acumulação, sendo utilizada para irrigação de lavoura diversas.

Segundo informações contidas no Processo SEI nº 1370.01.0065128/2021-36, administrado pelo IGAM, o volume de água reservado na barragem fora do leito drenou para o ribeirão do Pântano que fica a 2 km de distância da estrutura, percorrendo o sistema de drenagem até desaguar no reservatório da barragem Pântano, localizada a 17 km de distância (Figura 2).

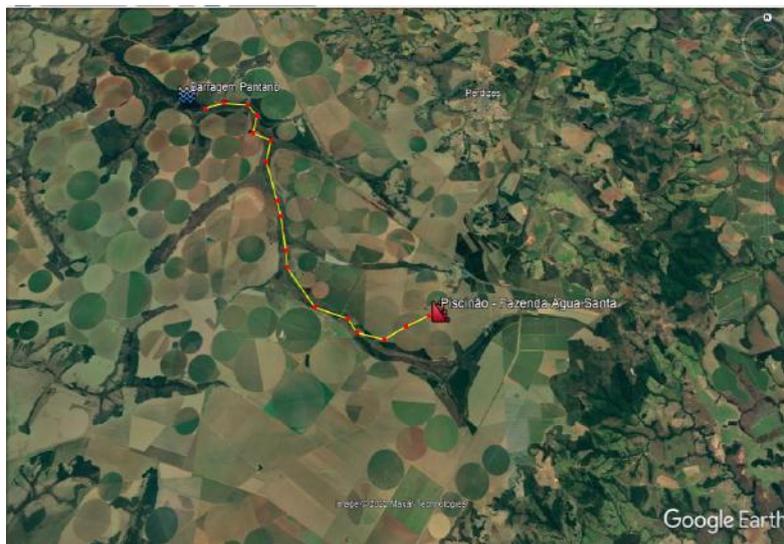
A barragem do Pântano é uma estrutura de terra, com altura de 10 m e volume máximo de acumulação de 5 hm^3 . No momento do evento, foi estimado que a barragem do Pântano possuía 4 milhões de metros cúbicos de volume de acumulação, cerca 80 % do volume total.

O volume advindo do piscinão, foi responsável pelo galgamento nas ombreiras da barragem do Pântano, que amorteceu o pico de cheia e evitou inundações na cidade de Santa Juliana que se localiza a 15 km de distância do barramento.

Cabe acrescentar que ao longo do ribeirão do Pântano existem outras 6 barragens situadas à jusante da barragem do Pântano que poderiam ter sido atingidas caso a mesma tivesse rompido.

Como o defluência do piscinão ocorreu em, aproximadamente, 150 minutos, a força da água acelerou o processo erosivo, carreando material para a calha do ribeirão do Pântano, assim como, suprimiu parte da vegetação ripária.

Figura 2: Piscinão Fazenda Água Clara e trajeto percorrido pela água do piscinão (Google Earth).



Fonte: Google Earth Pro (2022).

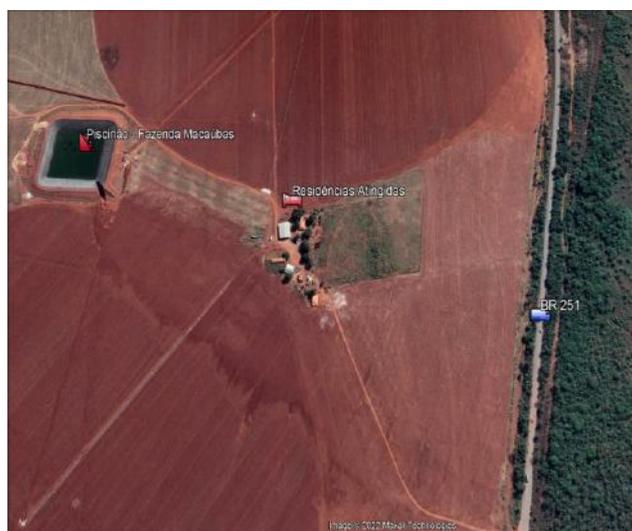
2.1.2 Fazenda Macaúbas - Unaí-MG

No dia 30 de maio de 2021 houve o rompimento da barragem fora do leito, situada nas coordenadas geográficas 16°35'19,47" S e 46°51'03,94", Fazenda Macaúbas com 1,69 hectares de espelho d'água e 170.000 m³ de volume de acumulação. A água reservada era utilizada na irrigação de lavoura na propriedade.

Segundo informações constantes no Boletim de Ocorrência Simplificado nº 2021 – 026433680-001, lavrado pela Polícia Militar de Meio Ambiente de Minas Gerais, não houve danos ambientais, pois, a área imediatamente a jusante era de lavoura, mais duas edificações da própria fazenda, a rodovia BR 251 e um bar que fica as margens da rodovia foram atingidos trazendo danos econômicos.

Relatos do proprietário informa que no dia anterior identificou uma surgência no talude do piscinão. Foi estimado que a água saía por uma abertura de aproximadamente 50 mm (Figura 3).

Figura 3: Piscinão Fazenda Macaúbas, benfeitorias e rodovia atingidas (Google Earth).



Fonte: Google Earth Pro (2022).

2.1.3 Fazenda São João

Em 15 de março de 2018, a barragem fora do leito, situada nas coordenadas geográficas 18°26'31,65"S e 46°05'58,39"O, na Fazenda São João com 1,4 hectares de espelho d'água e 10 metros de altura, rompeu na cidade de Presidente Olegário-MG. Aproximadamente, 145.000 metros cúbicos de água atingiu o córrego Dourado e posteriormente o rio da Prata, alterando a qualidade da água, suprimindo a vegetação ripária e provocando mortandade de peixes (Figura 4).

Segundo registros do Núcleo de Emergência Ambiental – NEA da SEMAD-MG, a água atingiu a BR 365 e aportou sedimentos para os cursos hídricos. Atualmente o reservatório-piscinão foi descomissionado e construído um novo nas proximidades com finalidade de irrigação de culturas diversas.

Figura 4: Piscinão Fazenda São João (Google Earth).



Fonte: Google Earth Pro (2022).

2.2 Potencial de Risco

Para avaliar o potencial de risco (PR) será adotado a Metodologia da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH). Esta metodologia foi instituída pela COGERH no ano de 2001 (MENESCAL et al., 2001b) e ela calcula o potencial de risco (PR), através da Matriz de Avaliação do Potencial de Risco, a partir de três parâmetros: P – Periculosidade; V – Vulnerabilidade e I – Importância Estratégica. Ademais, permite a priorização de ações a serem desenvolvidas na fase de planejamento e programação da manutenção.

O potencial de risco (PR) é calculado através da seguinte equação:

$$PR = \frac{(P+V)}{2} \times I$$

A Tabela 1 apresenta as 5 faixas de classificação das barragens com base no PR obtido.

Tabela 1: Potencial de Risco (PR).

CLASSE	POTENCIAL DE RISCO - PR
A	> 65 (ou $V_i=10$) - alto
B	40 a 65 – médio
C	25 a 40 – normal
D	15 a 25 – baixo
E	< 15 – muito baixo

NOTAS:

1. Barragens com PR acima de 55 devem ser reavaliadas por critérios de maior detalhe.
2. Barragens incluídas na classe A exigem intervenção, a ser definida com base em Inspeção Especial.

Fonte: Autores (2022).

As Tabelas 2, 3 e 4, estabelecem os critérios e pontuações para o cálculo do PR.

Tabela 2: Periculosidade (P).

DIMENSÃO DA BARRAGEM ¹	VOL. TOTAL DO RESERVATÓRIO ²	TIPO DE BARRAGEM ³	TIPO DE FUNDAÇÃO ⁴	VAZÃO DE PROJETO ⁵
Altura ≤ 10m Comprimento ≤ 200m (1)	Pequeno < 20hm ³ (3)	Concreto (4)	Rocha (1)	Decamlenar (1)
Altura 10 a 20m Comprimento ≤ 2000m (3)	Médio até 200hm ³ (5)	Alvenaria de pedra / Concreto rolado (6)	Rocha alterada / Saprolito (4)	Milenar (2)
Altura 20 a 50m Comprimento 200m a 3000m (6)	Regular 200 a 800hm ³ (7)	Terra / Enrocamento (8)	Solo residual / Aluvião até 4m (5)	500 anos (4)
Altura > 50m Comprimento > 500m (10)	Muito grande > 800hm ³ (10)	Terra (10)	Aluvião arenoso espesso / Solo orgânico (10)	Inferior a 500 anos ou Desconhecida (10)

NOTAS – Se a vazão for desconhecida, deverá ser reavaliada, independentemente da pontuação.

P > 30 – Elevado

P = 20 a 30 – Significativo

P = 10 a 20 – Baixo a Moderado

Fonte: Autores (2022).

$$P = \sum_1^5 P_i \quad (3.2)$$

Tabela 3: Vulnerabilidade (V), estado de condição atual da barragem.

TEMPO DE OPERAÇÃO ⁶	EXISTÊNCIA DE PROJETO (AS BUILT) ⁷	CONFIABILIDADE DAS ESTRUTURAS VERTEDEOURAS ⁸	TOMADA DE ÁGUA ⁹	PERCO-LAÇÃO ¹⁰	DEFORMAÇÕES/ AFUNDAMENTOS ASSENTAMENTOS ¹¹	DETERIORAÇÃO DOS TALUDES/ PARAMENTOS ¹²
> 30 anos (0)	Existem projetos "as built" e avaliação do desempenho (1)	Muito Satisfatória (2)	Satisfatória Controle a montante (1)	Totalmente Controlada Pelo sistema de drenagem (1)	Inexistente (0)	Inexistente (1)
10 a 30 anos (1)	Existem projetos "as built" (3)	Satisfatória (3)	Satisfatória Controle a jusante (2)	Sinais de umedecimen o nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras (4)	Pequenos abatimentos da crista (2)	Falhas no rip-rap e na proteção de Jusante (3)
5 a 10 anos (2)	Só projeto básico (5)	Suficiente (6)	Aceitável (3)	Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devida ao fluxo (6)	Ondulações pronunciadas, Fissuras (6)	Falha nas proteções – drenagens insuficientes e sulcos nos taludes. (7)
< 5 anos (3)	Não existe projeto (7)	Não satisfatório (10)	Deficiente (5)	Surgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante (10)	Depressão na crista – Afundamentos nos taludes, ou na fundação /Trincas (10)	Depressão no rip-rap Escorregamento s – sulcos profundos de Erosão, Vegetação (10)

NOTA: Pontuação (10) em qualquer coluna implica em intervenção na barragem, a ser definida com base em Inspeção Especial.

Fonte: Autores (2022).

$$V = \sum_6^{12} V_i \quad (3.3)$$

V > 35 – Elevada

V = 20 – 35 – Moderada a Elevada

V = 5 a 20 – Baixa a Moderada

V < 5 – Muito baixa

Tabela 4: Importância Estratégica (I).

VOL. ÚTIL ¹ hm ³ (A)	POPULAÇÃO A JUSANTE (B)	CUSTO DA BARRAGEM (C)
Grande (2) > 800	Grande (2,5)	Elevado (1,5)
Médio (1,5) 200 a 800	Média (2,0)	Médio (1,2)
Baixo (1) < 200	Pequena (1,0)	Pequeno (1,0)

NOTA: 1. Volume regularizado anual a partir dos dados de operação

Fonte: Autores (2022).

$$I = \frac{A+B+C}{3} \quad (3.4)$$

2.3 Potencial Dano Ambiental

A metodologia para avaliar o PDA será o estabelecido no Anexo III do Decreto Estadual nº48.140 de 2021 e adotado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) na gestão de barragens de rejeitos em Minas Gerais (Tabela 5).

Tabela 5: Classificação Quanto ao Potencial de Dano Ambiental - PDA- Decreto Estadual nº 48.140/2021

POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL		
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL (PDA)	Pontos
	POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL	PDA
	ALTO	≥ 13
	MÉDIO	$7 < DPA < 13$
	BAIXO	≤ 7

Fonte: Autores (2022).

Tabela 6: Classificação Quanto ao Potencial de Dano Ambiental - PDA- Decreto Estadual nº 48.140/2021

VOLUME TOTAL DO RESERVATÓRIO (A)	EXISTÊNCIA DE POPULAÇÃO A JUSANTE (B)	IMPACTO AMBIENTAL (C)	IMPACTO SOCIOECONÔMICO (D)
MUITO PEQUENO < = 1 milhão m ³ (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes /residentes ou temporárias / transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (Área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (Não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
PEQUENO 1 milhão a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	MÉDIO (Existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
GRANDE 25 milhões a 50 milhões m ³ (4)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A – Não Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (Existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
MUITO GRANDE > = 50 milhões m ³ (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	-
PDA= ∑ (a até d)			

Fonte: Autores (2022).

3. Resultados

Para a definição do Potencial de Dano Ambiental (PDA) das barragens fora do leito Fazendas Água Santa, Macaúbas e São João, foi adotada a matriz apresentada no Anexo III do Decreto Estadual nº 48.140/2021 e adotado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM). Quanto a definição do Potencial de Risco (PR), foi adotada a metodologia proposta pela Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH).

Insta informar que, as metodologias de PDA e PR citadas, foram desenvolvidas para estruturas construídas dentro de um curso de água. Assim, as simulações realizadas nesta Nota Técnica testarão a aplicabilidade dessas ferramentas em barragens fora do leito do rio (*off-stream*).

3.1 Fazenda Água Santa – Rodovia BR-452 - km 250 Leste – Perdizes/MG

A classificação da barragem fora do leito da Fazenda Santa Clara quanto ao PDA foi “baixa”. Considerando um volume total de 1 milhão de metros cúbicos, inexistência de população a jusante, impacto ambiental pouco significativo e impacto socioeconômico médio. Assim, o somatório de pontos totalizou 6, o que a classifica como baixa.

Quanto ao PR o reservatório-piscinão foi classificado, a saber:

Periculosidade (P): Dimensão da Barragem com altura igual ou inferior a 10 metros e comprimento inferior a 200 metros; volume total do reservatório inferior a 20 hectômetros cúbicos; tipo de barragem de terra; solo orgânico e vazão de projeto desconhecido, perfazendo 34 pontos e sendo classificada com periculosidade elevada.

Vulnerabilidade (V): Tempo de operação inferior a 5 anos; existência de projeto básico; confiabilidade das estruturas não satisfatória; tomada de água aceitável; percolação com sinais de umedecimento; deformações e deterioração dos taludes inexistentes, totalizando 26 pontos o que a classifica com vulnerabilidade moderada a elevada.

Avaliando quanto a Importância Estratégica (I), considerou-se volume útil baixo, população a jusante pequena e custo pequeno. Assim, o valor de I foi de 1. Analisando os três fatores acima, concluímos que o Potencial de Risco do reservatório Fazenda Água Santa, calculada através da Equação 3.1, é 30 (classe C), o que lhe confere PR “normal”.

3.2 Fazenda Macaúbas - Unaí-MG

A classificação do reservatório-piscinão da Fazenda Macaúbas, quanto ao PDA, foi “alta”. Considerando um volume total de 170.000 metros cúbicos, a existência de pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, impacto ambiental pouco significativo e impacto socioeconômico médio. Assim, o somatório de pontos totalizou 16, o que a classifica como alta.

Quanto ao PR o reservatório-piscinão foi classificado, a saber:

Periculosidade (P): Dimensão da Barragem com altura igual ou inferior a 10 metros e comprimento inferior a 200 metros; volume total do reservatório inferior a 20 hectômetros cúbicos; tipo de barragem de terra; solo orgânico e vazão de projeto desconhecido, perfazendo 34 pontos e sendo classificada com periculosidade elevada.

Vulnerabilidade (V): Tempo de operação inferior a 5 anos; existência de projeto básico; confiabilidade das estruturas não satisfatória; tomada de água aceitável; percolação com sinais de umedecimento; deformações e deterioração dos taludes inexistentes, totalizando 26 pontos o que a classifica com vulnerabilidade moderada a elevada.

Avaliando quanto a Importância Estratégica (I), considerou-se volume útil baixo, população a jusante média e custo pequeno. Assim, o valor de I foi de 1,33. Analisando os três fatores acima, concluímos que o Potencial de Risco do reservatório Fazenda Macaúbas, calculada através da Equação 3.1, é 40 (classe B), o que pode ser considerado PR médio.

3.3 Fazenda São João

A classificação do reservatório-piscinão da Fazenda São João, quanto ao PDA, foi “médio”. Considerando o volume total inferior a 1 milhão de metros cúbicos, não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local, impacto ambiental significativo e existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio econômico cultural na área afetada a jusante da barragem. Assim, o somatório de pontos totalizou 11, o que a classifica como médio.

Quanto ao PR o reservatório-piscinão foi classificado, a saber:

Periculosidade (P): Dimensão da Barragem com altura igual ou inferior a 10 metros e comprimento inferior a 200 metros; volume total do reservatório inferior a 20 hectômetros cúbicos; tipo de barragem de terra; solo orgânico e vazão de projeto desconhecido, perfazendo 34 pontos e sendo classificada com periculosidade elevada.

Vulnerabilidade (V): Tempo de operação inferior a 5 anos; inexistência de projeto básico; confiabilidade das estruturas não satisfatória; tomada de água deficiente; percolação com sinais de umedecimento; deformações e deterioração dos taludes inexistentes, totalizando 27 pontos o que a classifica com vulnerabilidade moderada a elevada.

Avaliando quanto a Importância Estratégica (I), considerou-se volume útil baixo, população a jusante média e custo pequeno. Assim, o valor de I foi de 1,33. Analisando os três fatores acima, concluímos que o Potencial de Risco do reservatório Fazenda Macaúbas, calculada através da Equação 3.1, é 41 (classe B), o que pode ser considerado PR médio.

4. Discussão

Após avaliação e classificação do Potencial Dano Ambiental e Potencial de Risco dos reservatórios-piscinões que romperam em Minas Gerais desde 2019 e apresentado resumidamente na Tabela 7, entendemos que as metodologias apresentadas no Decreto Estadual 48.140/2021 para PDA e metodologia adotada pela Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) para o Potencial de Risco, podem auxiliar na gestão de segurança dos reservatórios piscinões. Entretanto, adaptações devem ser realizadas para que as classificações destas estruturas estejam aderentes com a realidade.

Tabela 7: Tabela Resumo.

Reservatório Piscinão	Potencial Dano Ambiental (PDA)	Classificação PDA	Potencial de Risco (PR)	Classificação (PR)
Fazenda Água Santa	6	BAIXO	30	NORMAL
Fazenda Macaúbas	16	ALTA	40	MÉDIO
Fazenda São João	11	MÉDIO	41	MÉDIO

Fonte: Autores (2022).

Quanto as adaptações a matriz de pontuação do PDA apresentada no Decreto 48.140/2021, Tabelas 5 e 6, sugerimos adaptações em critérios para uma melhor aderência a realidade das barragens fora do leito. A Tabela 8, representa essa matriz classificatória para PDA de barragens fora do leito (*off stream*).

O volume das barragens *off stream* são inferiores ao volume de acumulação da maioria das barragens convencionais (Lopes; Santos, 2002). Entretanto, por se situar em meio as lavouras de cultura, tem um potencial de impacto maior por carrear toda vegetação, infraestrutura e demais obstáculos que possa estar na linha de drenagem até o fundo de vale mais próximo. Assim, houve proposições de faixas de volumes inferiores considerando os volumes das barragens fora do leito cadastradas junto ao Igam.

Outra adaptação sugerida é no número de classes do impacto ambiental. É proposto a diminuição de cinco para três classes, sendo elas: pouco significativo, significativo e muito significativo. Essa adaptação é justificada, uma vez que, os reservatórios fora do leito, em sua maioria, reservam água bruta e não resíduos industriais. Portanto, foi apresentado valores de pesos diferentes para as novas três classes, pois os resultados em relação ao critério Impacto Ambiental ficaram mais aderentes com a realidade.

Quanto a Tabela de Faixas de Classificação, entendemos ser aplicável os mesmos critérios apresentados no Decreto Estadual nº 48.140/2021.

Tabela 8: Proposta de adaptação para a pontuação na matriz classificatória do PDA

VOLUME TOTAL DO RESERVATÓRIO (A)	EXISTÊNCIA DE POPULAÇÃO A JUSANTE (B)	IMPACTO AMBIENTAL (C)	IMPACTO SOCIOECONÔMICO (D)
MUITO PEQUENO < = 40.000 m ³ (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes /residentes ou temporárias / transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	POUCO SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (1)	INEXISTENTE (Não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
PEQUENO 40.001 a 100.000 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (3)	SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs) (5)	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
MÉDIO 100.001 a 250.000 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	MUITO SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs) (8)	MÉDIO (Existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
GRANDE 250.001 a 1 milhão m ³ (4)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe barragem imediatamente jusante) (5)		ALTO (Existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
MUITO GRANDE > = 1 milhão m ³ (5)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)		-
PDA = \sum (a até d)			

Fonte: Autores (2022).

Nas três situações consideradas no presente trabalho, houveram alterações quanto ao somatório dos pontos do PDA. Esses resultados trouxeram mais aderência ao que foi constatado pelas equipes técnicas do Estado e relatada nos Reds, Auto de Fiscalização e Relatórios de Campo, que entre outras coisas, relataram impactos a qualidade da água dos cursos hídricos mais próximos, danos a edificações, vias públicas e estruturas hidráulicas e impactos a áreas de preservação permanentes.

Insta informar que a classificação da barragem fora do leito da Fazenda Macaúbas não alteraria sua classificação, pois a mesma já havia sido considerada de PDA alto pela matriz proposta no Decreto Estadual nº 48.140/2021.

A Tabela 9 resume as informações das três barragens fora do leito estudadas e traça um paralelo entre a matriz proposta e a matriz do Decreto Estadual nº 48.140/2021. Nota-se que com a matriz proposta, os PDA das três barragens em tela foram classificados como alto.

Quanto a avaliação do Potencial de Risco (PR), metodologia da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará - COGERH, entendemos haver necessidades de aprimoramentos na técnica, sobretudo nas Tabelas 2, 3 e 4. A seguir,

serão apresentadas essas melhorias para adaptação a realidade das barragens fora do leito. A Tabela 9 apresenta as adaptações no que tange a Periculosidade.

Tabela 9: Resumo da avaliação quanto ao Potencial Dano Ambiental.

Parâmetro	Barragem Faz. Agua Santa	Barragem Faz. Macaúbas	Barragem Faz. São João
Volume Total do Reservatório (m³)	1 milhão	170 mil	1 milhão
Existência de População à jusante	Não	Sim	Não
Impacto ambiental	Pouco significativo	Pouco significativo	Significativo
Impacto Socioeconômico	Médio	Médio	Baixo
PDA	Somatório 6 - Baixa	Somatório 16 - Alto	Somatório 8 - Médio
PDA Metodologia Proposta	Somatório 14 - Alto	Somatório 17 - Alto	Somatório 16 - Alto

Fonte: Autores (2022).

O primeiro critério a ser adaptado é quanto as dimensões. As barragens fora do leito possuem altura e comprimento inferiores a maioria das barragens convencionais (no leito hídrico). Assim, foram propostas novas faixas para classificação de altura e comprimento considerando os projetos de barragens fora do leito protocolados no Igam. Automaticamente, houveram adaptações ao critério volume total do reservatório.

Outro critério aprimorado foi a substituição do critério “Vazão de Projeto para Sistema de Segurança e Extravasão”. A adaptação se justifica, uma vez que, os reservatórios fora do leito não possuem sistemas de escapes por terem vazão de entrada controlada por bombeamento. Contudo, um sistema de segurança de extravasão é importante para casos emergências e que demande o deplecionamento do volume armazenado na estrutura.

Outra necessidade de adaptação identificada no presente estudo, é quanto a matriz de Vulnerabilidade (V). Essa matriz avalia o estado de condição da barragem. A Tabela 10 contém as propostas de adaptações dessa Nota Técnica.

Tabela 10: Proposta de aprimoramento na matriz de periculosidade (P).

DIMENSÃO DA BARRAGEM ¹	VOL. TOTAL DO RESERVATÓRIO ²	TIPO DE BARRAGEM ³	TIPO DE FUNDAÇÃO ⁴	SISTEMA DE SEGURANÇA EXTRAVASÃO ⁵
Altura ≤ 10m Comprimento ≤ 20m (1)	Pequeno < 40.000m ³ (3)	Concreto (4)	Rocha (1)	Satisfatório (0)
Altura 10 a 20m Comprimento ≤ 20m (3)	Médio 40.001 a 100.000 m ³ (5)	Alvenaria de pedra / Concreto rolado (6)	Rocha alterada / Saprolito (4)	Suficiente (2)
Altura 10 a 20m Comprimento 20m a 100m (6)	Regular 100.001 a 999.999 m ³ (7)	Terra / Enrocamento (8)	Solo residual / Aluvião até 4m (5)	Não existe (10)
Altura > 20m Comprimento > 100m (10)	Grande > 1 milhão de m ³ (10)	Terra (10)	Aluvião arenoso espesso / Solo orgânico (10)	

NOTAS – Se a vazão for desconhecida, deverá ser reavaliada, independentemente da pontuação. Fonte: Autores (2022).

$$P = \sum_1^5 P_i$$

P > 30 – Elevado

P = 20 a 30 – Significativo

P = 10 a 20 – Baixo a Moderado

Primeiro aspecto a ser abordado é quanto a supressão dos quesitos “Confiabilidade das Estruturas de Vertedouras”. Pelo fato das barragens fora do leito não possuírem sistemas de extravasão de vazões máximas, esse item pode ser desconsiderado.

Outra adaptação sugerida é a transformação dos critérios “Deformações/ Afundamentos/Assentamentos” e “Deterioração dos taludes/paramentos” no critério Patologia. Trata-se de uma simplificação, uma vez que, a coluna Patologias contemplaria todas as situações descritas nos critérios suprimidos.

Por último, foi proposto adaptações na matriz de Importância Estratégica, conforme Tabela 11. Considerando as dimensões dos reservatórios e o fato de estarem fora do leito, foi feito adaptações nas classes do critério volume útil. Ademais, foi retirado o critério “Custo da Barragem” e adicionado o critério “Localiza da Barragem”.

Tabela 11: Proposta de aprimoramento na matriz de Vulnerabilidade (V), estado de condição atual da barragem.

TEMPO DE OPERAÇÃO ⁶	EXISTÊNCIA DE PROJETO (AS BUILT) ⁷	TOMADA DE ÁGUA ⁸	PERCOLAÇÃO ⁹	PATOLOGIAS ¹⁰
> 30 anos (0)	Existem projetos "as built" e avaliação do desempenho (1)	Boas condições de conservação (0)	Totalmente Controlada Pelo sistema de drenagem (1)	Inexistente (0)
10 a 30 anos (1)	Existem projetos "as built" (3)	Aceitável (1)	Sinais de umedecimento nas áreas taludes (4)	Falhas no riprap ou geomembranas e nas proteções de Jusante e montante (3)
5 a 10 anos (2)	Só projeto básico (5)	Deficiente (5)	Zonas úmidas em taludes (6)	Drenagens insuficientes e sulcos nos taludes (7)
< 5 anos (3)	Não existe projeto (10)		Surgência de água em taludes (10)	Depressão, Deformações, fissuras, escorregamento, sulcos profundos de Erosão (10)

V > 35 – Elevada

V = 20 – 35 – Moderada a Elevada

V = 5 a 20 – Baixa a Moderada

V < 5 – Muito baixa

Fonte: Autores (2022).

$$V = \sum_6^{10} V_i$$

Essa adaptação se justifica pelo fato da maioria das barragens fora do leito serem estruturas hidráulicas privadas e que atenderia um único empreendimento. Assim, o fator custo não teria uma importância coletiva e sim para o próprio proprietário. Entretanto, a localização é de suma importância estratégica para a gestão de recursos hídricos, uma vez que, a água reservada no período de cheia para serem utilizadas no período de estiagem, dirime conflitos e viabiliza a manutenção mínima de atividades econômicas e minimiza os impactos sociais advindos da seca.

Por isso, deu-se uma importância maior as barragens fora do leito situadas no semiárido mineiro e em áreas de conflito ou restrição hídrica. Em outras palavras, há de se ter uma gestão da segurança mais efetiva dessas estruturas para que as mesmas não possam colapsar e deixar de cumprir tais funções.

Tabela 12: Proposta de aprimoramento na matriz de Importância Estratégica (I).

VOL. ÚTIL m^3 ^(A)	POPULAÇÃO A JUSANTE ^(B)	LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM ^(C)
Grande (2) > 1.000.000	Grande (2,5)	Semiárido (1,5)
Médio (1,5) 40.001 a 999.999	Média (2,0)	Área de conflito ou restrição hídrica (1,35)
Baixo (1) < 40.000	Pequena (1,0)	Outros (1,0)

Fonte: Autores (2022).

$$I = \frac{A+B+C}{3}$$

Quando comparada a classificação pelas duas metodologias de PR (Tabela 13), constatamos que houve alterações nas pontuações. Entretanto, essas alterações não foram significativas ao ponto de alterar a classificação quanto ao Potencial de Risco.

Tabela 13: Resumo da avaliação quanto ao Potencial de Risco (PR)

Parâmetro	Barragem Faz. Agua Santa	Barragem Faz. Macaúbas	Barragem Faz. São João
Metodologia da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará			
Periculosidade	Somatório 34 - Elevada	Somatório 34 - Elevada	Somatório 34 - Elevada
Vulnerabilidade	Somatório 26 - Moderada a elevada	Somatório 26 - Moderada a elevada	Somatório 27 Moderada a elevada
Importância estratégica	1	1,33	1,33
PR	PR = 30 -NORMAL	PR = 39,9 - NORMAL	PR = 40,6 - MÉDIO
Metodologia Adaptada			
Periculosidade	Somatório 41 - Elevada	Somatório 38 - Elevada	Somatório 41 - Elevada
Vulnerabilidade	Somatório 13 - Baixa a Moderada	Somatório 13 - Baixa a Moderada	Somatório 22 - Moderada a elevada
Importância estratégica	1,33	1,5	1,67
PR Metodologia Proposta	PR = 35,9 - NORMAL	PR = 38,25 - NORMAL	PR = 52,3 - MÉDIO

Fonte: Autores (2022).

Ressalta-se que o resultado quanto a Periculosidade e Importância Estratégica da metodologia adaptada teve uma aderência maior ao que foi constatado em campo e relatado em documentos oficiais do Estado pelos técnicos do Igam, Defesa Civil, Semad e PMMG.

4. Conclusão

O presente trabalho avaliou a aplicabilidade do Potencial Dano Ambiental (PDA), metodologia Feam prevista no Decreto 48.140/2021 e do Potencial de Risco (PR), metodologia instituída pela COGERH no ano de 2001, metodologias elaboradas para barragens convencionais. Essas metodologias tiveram boa aderência as três situações reais de rompimento de barragem fora do leito no estado. Ainda assim, foi identificado necessidade de adaptações para aplicabilidade às barragens *off stream*.

As adaptações propostas foram quanto ao volume de acumulação, comprimento, altura, sistemas de segurança, adequações nos intervalos de classe e supressão de componentes que são importantes para barragens convencionais e que não são utilizados em barragens fora do leito. Consideramos que as ferramentas PDA e PR são de suma importância para a gestão das barragens fora do leito. As metodologias testadas podem auxiliar os órgãos gestores de segurança dessas estruturas a estabelecerem prioridades de fiscalização e frequência de vistoria e revisões documentais e projetos.

No mais, recomendamos os testes de outras metodologias de PDA e PR para avaliação da aderência e acurácia dessas metodologias na realidade dos reservatórios-piscinões.

Agradecimentos

Agradecemos a todos que participaram deste estudo e confiaram no sucesso do projeto! Em especial, as professoras orientadoras, Dra. Maria Quitéria Castro Oliveira e Dra. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros. Agradecemos, ainda, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e a Universidade Federal da Bahia (UFBA) por possibilitarem este estudo e contribuírem com a nossa capacitação em Segurança de Barragem.

Referências

- Arai, F. K. (2014). *Critérios para concessão de outorga e eficiência do uso dos recursos hídricos pela irrigação*. (Doctoral dissertation). Universidade Federal da Grande Dourados.
- Brasil (2002). *Manual de segurança e inspeção de barragens*. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. Pró-Água/Semi-Árido – UGPO. Departamento de Projetos e Obras Hídricas (DPOH).
- Brasil (2020). Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).
- Duarte, A. P. (2008). *Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco*. (Master's thesis). Universidade Federal de Minas Gerais.
- Espólito, T. J., & Duarte, A. P. (2010). *Classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais em relação a fatores de risco*. Rem: Revista Escola de Minas, 63(2), 393-398.
- Estado do Ceará (2021). Plano de segurança hídrica das bacias Hidrográficas Estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-Bacia do salgado: Estratégia geral de mitigação e gestão de riscos.
- Guimarães, C. M., & Morais, C. F. *Mineração, degradação ambiental e arqueologia: Minas Gerais, Brasil século XVIII*. Memoria americana, 26(2), 82-101.
- Instituto Mineiro De Gestão Das Águas (2012). *Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais*. <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/publicacoes-tecnicas/6020-outorga>>.
- Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999 (1999). Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte. <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=13199&ano=1999>>.
- Lopes, J. E., & Santos, R. C. (2002). *Capacidade de reservatórios*. Universidade de São Paulo.

Menescal, R. A., Cruz, P. T., Carvalho, R. V., Fontenelle, A.S., & Oliveira, S.K.F. (2001a). Uma Metodologia para Avaliação do Potencial de Risco em Barragens do SemiArido. *XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens*, Anais, Fortaleza – Ce.

Menescal, R. A., Fontenelle, A. S., Oliveira, S. K. F., & Vieira, V. P. P. B. (2001b). Acidentes e Incidentes de Barragens no Estado do Ceará. *XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens*, Anais, Fortaleza – CE.

Millington, N. (2021). *Stormwater politics: Flooding, infrastructure, and urban political ecology in São Paulo, Brazil*. *Water Alternatives*, 14(3), 866-885.

Minas Gerais (2019). *Portaria IGAM nº 18, de 16 de maio de 2019*. Dispõe sobre cadastro de reservatórios de água, conforme determinação judicial exarada nos autos do Processo nº 5014022-05-2019.8.13.0024.

Minas Gerais (2021a). *Decreto nº 48.140/2021*. Regulamenta dispositivos da Lei nº23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragens, estabelece medidas para aplicação do art. 29 da Lei nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016, e dá outras providências.

Minas Gerais (2021b). *Decreto nº 48.128/2021*. Altera o quantitativo e a distribuição de gratificações temporárias estratégicas no âmbito da Secretaria de Estado de Governo.

Oliveira, V. A. (2013). *Regionalização de vazões nas regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD1 e GD2*. (Master's Thesis). Universidade Federal de Lavras.

Silva, C. O. F., Putti, F. F., & Manzione, R. L. (2021). *Panorama da evolução da agricultura irrigada no sudeste do Brasil entre 2006 e 2017*. *Irriga*, 1(3), 446-457.

Silva, J. C. A., & Porto, M. F. A. (2014, September 7-12). *Perspectives of the recovery process of Brazilian urban water bodies* [Paper presentation]. 13th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia.

Silveira, J. F. A. (1999). A análise de risco aplicada a segurança de barragens. *Revista Brasileira de Engenharia*, ed. Especial, 1-42.