

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **Segurança hidrológica em barragens de mineração: Uma avaliação dos critérios normativos e regulatórios no Brasil e referências técnicas internacionais sobre vazões de projeto de extravasores e borda livre mínima de reservatórios**

*Eduardo de Oliveira Bueno<sup>1</sup>; Verena Maria Manolaque Meirelles<sup>2</sup>*

**Abstract:** This article analyzes the evolution of normative and regulatory criteria for hydrological safety applicable to mining dams in Brazil, considering the relevance of these aspects in reducing the risks of overtopping and failure of such structures. Through a qualitative and comparative approach to normative and regulatory documents (ANM Resolution 95/2022, ABNT NBR 13.028) and international technical guidelines (ICOLD, CDA, ANCOLD and ICMM), the study focuses on two fundamental hydrological criteria: the minimum freeboard of reservoirs and the design discharge of spillways. The study indicates an alignment over the years between national and international standards, especially regarding the adoption of more conservative design flow and freeboard criteria for dams with downstream communities within the flood zone, as well as for those under closure or decharacterization conditions. Additionally, it discusses advancements in defining differentiated design flows according to the associated potential damage (DPA), and the opportunity to improve minimum freeboard criteria based on the consequences of potential dam failure. Finally, the article highlights the challenges of applying international practices in Brazil, either due to limited hydrometeorological data for the spatial scale of mining study areas or due to the lack of a clearer definition of DPA categories in the country that would allow for correspondence with internationally used consequence classifications.

**Resumo:** Este artigo analisa a evolução dos critérios normativos e regulatórios de segurança hidrológica aplicáveis a barragens de mineração no Brasil, considerando a relevância desses aspectos na redução dos riscos de galgamento e ruptura dessas estruturas. Por meio de abordagem qualitativa e comparativa de documentos normativos e regulatórios (Resolução ANM 95/2022, norma ABNT NBR 13.028) e diretrizes técnicas internacionais (ICOLD, CDA, ANCOLD e ICMM), o estudo foca dois critérios hidrológicos fundamentais: borda livre mínima dos reservatórios e vazão de projeto dos extravasores. O estudo indica alinhamento ao longo dos anos entre padrões nacionais e internacionais, especialmente quanto à adoção de critérios mais conservadores de vazões de projeto e borda livre para barragens com comunidades na mancha de inundação a jusante, bem como para condição de fechamento ou descaracterização. Além disso, discute-se os avanços na definição de vazões de projeto diferenciadas conforme o dano potencial associado (DPA) e a oportunidade de melhorar critérios de borda livre mínima conforme as classes de consequências de eventual falha. Por fim, destacam-se os desafios para aplicação no Brasil das práticas internacionais, seja por limitação de dados hidrometeorológicos para escala espacial das áreas de estudo de mineração ou pela ausência de descrição mais clara das categorias de DPA no país, que permita correspondência com classificações de consequências usadas internacionalmente.

**Palavras-Chave:** Borda livre; vazão de projeto; barragem.

1) Pimenta de Ávila Consultoria. [eduardo.bueno@pimentadeavila.com.br](mailto:eduardo.bueno@pimentadeavila.com.br)  
2) Pimenta de Ávila Consultoria. [verena.meirelles@pimentadeavila.com.br](mailto:verena.meirelles@pimentadeavila.com.br)

## INTRODUÇÃO

A segurança de barragens de mineração ganhou maior relevância no Brasil na última década, especialmente após as rupturas de 2015 em Mariana/MG e de 2019 em Brumadinho/MG. Entre os diversos aspectos envolvidos na segurança dessas estruturas, destacam-se dois critérios hidrológicos fundamentais: a borda livre mínima (altura livre entre o nível de água *maximum maximorum* no reservatório e a elevação mínima da crista da barragem) e a vazão de projeto do sistema extravasor, fundamentais para garantir que a barragem seja capaz de suportar eventos extremos de precipitações e cheias, reduzindo os riscos de galgamento e ruptura.

No setor de mineração, onde o dano potencial associado à falha das estruturas em geral é elevado, com impactos sociais e ambientais que podem ser irreversíveis, esses critérios assumem ainda maior importância. Por isso, diversas organizações técnicas e regulatórias, tanto no Brasil quanto no exterior, têm se mobilizado para estabelecer critérios normativos robustos e consistentes, capazes de embasar os projetos, auditorias e obras de reforços dos barramentos. No Brasil, a Agência Nacional de Mineração (ANM) tem liderado essa agenda por meio de resoluções específicas voltadas à segurança de barragens de mineração, assim como as comissões de estudos especiais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No cenário internacional, instituições como a International Commission on Large Dams (ICOLD), a Canadian Dam Association (CDA) e o International Council on Mining and Metals (ICMM) atuam de forma proativa na formulação e publicação de diretrizes técnicas e recomendações que orientam o dimensionamento e operação segura das barragens de mineração. Esses organismos oferecem suporte técnico por meio de boletins, manuais e guias atualizados, refletindo décadas de experiência acumulada e inovação em engenharia de barragens.

Diante desse contexto, o presente artigo visa sistematizar e comparar diferentes documentos normativos, regulatórios e referências técnicas no que se refere aos critérios hidrológicos de vazão de projeto dos sistemas extravasores e de borda livre mínima dos reservatórios das barragens de mineração, importantes para redução dos riscos de galgamento e ruptura dessas estruturas. Além disso, objetivou-se uma análise da evolução nas últimas décadas da normativa técnica brasileira sobre barragens de mineração (ABNT NBR 13.028), comparativamente à diferentes referências técnicas internacionais amplamente conhecidas (ICOLD, ANCOLD, CDA) e instrumentos regulatórios de segurança de barragens de mineração no Brasil (Resolução ANM 95/2022 e alterações).

## METODOLOGIA

O estudo adotou uma abordagem qualitativa e comparativa, baseada em três etapas principais, conforme ilustra o fluxograma na Figura 1 abaixo:

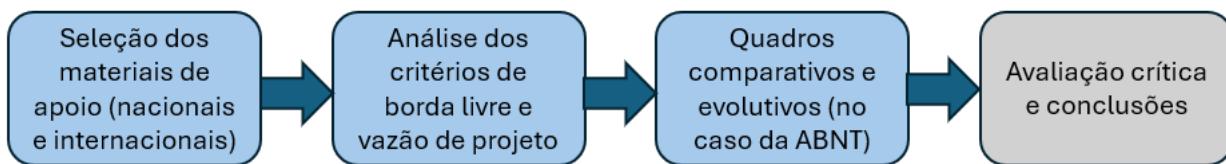


Figura 1. Fluxograma da metodologia de trabalho.

- Seleção dos materiais: Foram analisados documentos técnicos diversos, normativos e regulatórios, como: Resolução da ANM e alterações (2022-2024), Edições da norma técnica da ABNT NBR 13.028 (1993 a 2024), com foco nas atualizações sobre vazões

de projeto e borda livre, Diretrizes técnicas internacionais: ICOLD (2025), ANCOLD (2019), CDA (2019), ICMM (2020).

- Análise de critérios: Para cada documentação pesquisada, foram extraídas informações relevantes sobre: Borda livre mínima, Vazão de projeto, Condicionantes (como presença de comunidades na ZAS, consequência ou dano potencial associado).
- Quadros comparativos: Os dados foram organizados em tabelas comparativas, destacando os pontos relevantes, convergências e divergências entre a documentação consultada.

## REFERÊNCIAS NACIONAIS

A Resolução ANM Nº 95/2022, com alterações pelas Resoluções Nº 130/2023 e Nº 175/2024, representa o principal marco regulatório vigente para a segurança de barragens de mineração no Brasil. No seu artigo 24, ela estabelece critérios hidrológicos para o dimensionamento ou verificação dos sistemas extravasores, conforme o dano potencial associado à ruptura da estrutura (DPA) e considerando o período de operação ou de fechamento/descaracterização das barragens (Tabela 1). Além do critério de vazão de projeto do sistema extravasor, a Resolução ANM Nº 95/2022 estabelece no seu artigo 54 a exigência de borda livre mínima de 1,0 metro ou conforme projeto, o que for maior, nos casos de barramentos cujos mapas de inundação identifique a existência de comunidade na ZAS (Zona de Autossalvamento), independentemente do DPA.

Tabela 1 – Tempo de retorno mínimo a ser considerado para dimensionamento do sistema extravasor – Adaptado de Resolução ANM 95/2022.

Dano Potencial Associado	Período de Operação	Período de Descaracterização
Baixo	500 anos	
Médio	1.000 anos	10.000 anos ou PMP <sup>(1)</sup> , o que for maior, independentemente do DPA
Alto	10.000 anos ou PMP <sup>(1)</sup>	

(1) A maior vazão de projeto entre aquela de TR 10.000 anos e a PMP (Precipitação Máxima Provável), conforme a duração crítica do sistema hidrológico avaliado.

A norma técnica brasileira ABNT NBR 13.028, em sua evolução desde a primeira edição em 1993 até a mais recente de 2024, mostra um aprimoramento gradual dos critérios hidrológicos aplicados aos projetos de barragens de mineração. A Tabela 2 apresenta a evolução dessa normativa, em diferentes aspectos.

A 1ª edição da norma técnica ABNT NBR 13.028, publicada em 1993, trazia como referência, para projetos de barragens de mineração, as diretrizes publicadas pelo ICOLD. Ainda sem especificar critérios de período de retorno para vazões de projeto das estruturas extravasadoras para fase de operação, essa versão da norma indicava alguns itens gerais para projetos de barragens de mineração, como a determinação de Precipitações Máximas Prováveis (PMP) locais e comparação com os valores da PMP regional; e a determinação da cheia de projeto, levando-se em consideração os aspectos do volume de reservatório, altura de barragem e riscos a jusante. A norma recomendava também como medida para desativação das barragens de mineração, a construção de extravasor de superfície livre, dimensionado para vazão correspondente à EMP (Enchente Máxima Provável).

Tabela 2 – Evolução das edições da norma técnica ABNT NBR 13.028.

Aspecto	1ª Edição	2ª Edição	3ª Edição	4ª Edição
Data de Publicação	Julho / 1993	Setembro / 2006	Novembro / 2017	Novembro / 2024
Escopo	Projetos de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração	Projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água		
Extravasor - Período de Operação	Não especificado	Dimensionado para TR mínimo de 500 anos, verificado para 1.000 anos	TR mínimo, conforme DPA: Baixo: 200 a 500 anos Médio: 500 a 1.000 anos Alto: 1.000 anos a PMP	TR mínimo, conforme DPA: Baixo: 500 anos Médio: 1.000 anos Alto: 10.000 anos ou PMP
Extravasor – Período de Desativação / Fechamento	EMP	PMP	TR de 10.000 anos ou PMP, o que for maior, independentemente do DPA	
Borda livre Mínima	Recomenda cálculo da borda livre, sem especificar critério	Sem borda livre, para os períodos de operação e desativação	Recomenda borda livre, segundo análise do projetista	Para barragens com comunidades na ZAS: maior ou igual a 1,0 metro para TR de 10.000 anos ou PMP, o que for maior, independentemente do DPA

EMP: Enchente Máxima Provável, PMP: Precipitação Máxima Provável, DPA: Dano Potencial Associado, TR: Tempo de Recorrência ou de Retorno, ZAS: Zona de Autossalvamento.

A 2ª edição da ABNT NBR 13.028, publicada em 2006, trouxe critérios mais objetivos para projetos do sistema extravasor de barragens de mineração, diferenciando por período de operação (ou construção em etapas) e de desativação, mas ainda sem fazer correlação com a consequência/dano potencial associado à ruptura do maciço, e dispensando borda livre mínima.

A 3ª edição da ABNT NBR 13.028 foi publicada em 2017, portanto, publicada após a ruptura da barragem do Fundão (Mariana/MG), em novembro/2015. Essa versão da norma faz referência à diferentes guias práticos internacionais para projetos e operação de barragens de mineração (CDA, ANCOLD, ICOLD), destacando como documento chave para elaboração da norma o Boletim ICOLD 139/2011 - *Improving Tailings Dam Safety: Critical Aspects of Management, Design, Operation, and Closure*.

No que se refere ao sistema extravasor, a edição de 2017 da norma técnica recomendava, à critério do projetista, a manutenção de borda livre acima do nível d'água *maximum maximorum*, fornecendo um fator de segurança contra variações de ondas e de elevação de crista e de construção.

A 3ª edição da NBR 13.028 apresentou pela primeira vez tempos de retorno mínimos de referência para vazões de projeto dos extravasores, no período de operação, de acordo com cada nível de consequências (ou dano potencial) esperadas dada uma falha da barragem. Além disso, foi

indicado como critério de projeto de fechamento, o período de retorno de 10.000 anos ou PMP, sem deixar claro na norma que deveria ser adotado o maior quantil entre esses. Um outro ponto negativo dessa edição era que, para o período operacional foram apresentados faixas de tempos de retorno e não valores específicos, permitindo a adoção dos limites inferiores, com destaque para um TR de apenas 1000 anos para barramentos com a classificação de consequência ou dano potencial Alto.

A 4<sup>a</sup> e atual edição da ABNT NBR 13.028, datada de novembro de 2024, foi publicada após a ruptura da barragem B1 (Brumadinho/MG), em janeiro/2019. Da mesma forma que na versão anterior de 2017, é recomendado para o projeto a manutenção de borda livre acima do nível d'água *maximum maximorum*, fornecendo uma condição de segurança contra ondas e eventuais incertezas relacionadas ao trânsito de cheias no reservatório.

Em termos de vazão de projeto, a NBR 13.028/2024 apresenta para o período operacional critérios específicos (e não intervalos, como na edição de 2017) de tempos de retorno mínimo para o dimensionamento do sistema extravasor, no caso de barramentos classificados com DPA Baixo ou Médio. Para DPA Alto é indicado o TR de 10.000 anos ou PMP, o que for mais restritivo para o sistema hidrológico avaliado. Esse mesmo critério é recomendado para o projeto de fechamento, independentemente do DPA da estrutura.

De forma inédita entre as edições da NBR 13.028, e seguindo o preconizado pela Resolução ANM 95/2022, a versão de 2024 da norma técnica traz como diretriz que, independentemente do DPA, as barragens de mineração cujo mapa de inundação contemple a existência de comunidade na ZAS (zona de autossalvamento) devem apresentar borda livre mínima maior ou igual a 1,0 m para o período de retorno de 10000 anos ou PMP (precipitação máxima provável), a que for mais restritiva para a duração crítica do sistema hidrológico avaliado.

## CRITÉRIOS INTERNACIONAIS

A Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD) fornece diretrizes relevantes sobre segurança de barragens, inclusive do setor de mineração. A versão atual do *Tailings Dam Safety Bulletin* Nº 194 (ICOLD, 2025) apresenta critérios hidrológicos mínimos para vazões de projeto de barragens de mineração, de acordo com a classificação de consequência de falha da estrutura, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Critérios hidrológicos estabelecidos no ICOLD, 2025 (Adaptado por Autores).

Classificação de Consequência	Cheia de Projeto (Fase de Operação e Fechamento com Cuidado Ativo)
Baixa	TR 200 anos
Significativa	TR 1.000 anos
Alta	1/3 entre a magnitude da cheia de TR 1.000 anos e a Cheia Máxima Provável
Muito Alta	2/3 entre a magnitude da cheia de TR 1.000 anos e a Cheia Máxima Provável
Extrema	Cheia Máxima Provável (PMF)

Em termos de borda livre, o ICOLD ressalta que existem diversos guias para barragens que apresentam métodos para calcular a altura livre necessária, recomendando o valor mínimo de 1,0 metro acima do nível máximo da cheia, como um fator de segurança contra variações de ondas, variações na elevação da crista e variações de projeto.

Na Austrália, o Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD) adota uma abordagem semelhante ao do ICOLD. De acordo com o *Guidelines on Tailings Dams: Planning, Design, Construction, Operation and Closure* (ANCOLD, 2019), o critério de cheia de projeto dos extravasores de emergência depende da classificação de consequência da estrutura, variando desde TR de 100 anos até a Cheia Máxima Provável (PMF) para estruturas de risco extremo. A borda livre mínima, deve ser dimensionada com base no cálculo da sobrelevação do nível d'água *maximum maximorum* gerado por rajadas de ventos com tempo de retorno de 10 anos (Tabela 4).

Tabela 4 – Critérios estabelecidos no ANCOLD, 2019 (Adaptado por Autores).

Classificação de Consequência	Cheia de Projeto Recomendada	Borda Livre Recomendada
Baixa	100 anos	
Significativa	1.000 anos	<i>Wave run-up</i> <sup>(1)</sup> associada à rajada de vento com tempo de retorno de 10 anos
Alta	100.000 anos	
Extrema	Cheia Máxima Provável	Determinado por uma avaliação de risco

(1) Altura (vertical) acima do N.A. *maximum maximorum* alcançada pelo espraiamento da água no talude de montante do maciço devido à quebra das ondas provocadas pela ação do vento na superfície do reservatório.

O Canadian Dam Association Guidelines (CDA, 2019) também apresenta critérios variáveis de vazões de projeto e borda livre mínima para diferentes classes de consequência das estruturas, semelhantes aos critérios do ICOLD (Tabela 5).

Tabela 5 – Critérios estabelecidos no CDA, 2019 (Adaptado por Autores).

Classificação de Consequência	Cheia de Projeto Recomendada
Baixa	100 anos
Significativa	Entre 100 e 1.000 anos
Alta	1/3 entre a magnitude da cheia de TR 1.000 anos e a Cheia Máxima Provável
Muito Alta	2/3 entre a magnitude da cheia de TR 1.000 anos e a Cheia Máxima Provável
Extrema	Cheia Máxima Provável (PMF)

De acordo com o CDA, a borda livre mínima deve ser tal que não haja transbordamento por ondas causadas pelo vento mais crítico, quando o reservatório estiver no seu nível *maximum maximorum* durante a passagem da cheia de projeto. A definição do vento mais crítico depende também da classe de consequência da barragem, com as seguintes sugestões de recorrência:

- Barragem de baixa consequência: Rajada de vento com TR de 100 anos;
- Barragem de consequência significativa: Rajada de vento com TR de 10 anos;
- Barragem de alta, muito alta e extrema consequência: Rajada de vento com TR de 2 anos.

Para barragens de concreto ou outras estruturas resistentes à erosão, a borda livre pode ser baseada em uma análise econômica de danos.

Após o rompimento da barragem de Brumadinho em 2019, o ICMM (*International Council of Mining and Metals*) elaborou e publicou em 2020 um documento com diretrizes, princípios e critérios para um padrão global da indústria para gestão de rejeitos – GISTM, com o objetivo principal de evitar qualquer dano às pessoas e ao meio ambiente, e com tolerância zero para fatalidades humanas (ICMM, 2020).

O GISTM apresenta, de forma detalhada, indicadores de impactos para orientar o enquadramento em 5 classes de consequências (Baixa, Significativa, Alta, Muito Alta e Extrema), considerando os seguintes aspectos: população potencialmente em risco; potencial de perdas de vidas; perdas para o meio ambiente, perdas de saúde, sociais e culturais; perdas de infraestruturas e econômicas). Entre os critérios indicados no GISTM está um associado ao tempo de retorno de inundações, que pode ser entendido como o TR da vazão de projeto das estruturas extravasadoras, variável conforme a classe de consequências e a condição de operação e fechamento ou pós-fechamento da estrutura (Tabela 6). O GISTM não apresenta nenhum critério relativo ao modo de falha de galgamento, em termos de borda livre mínima no reservatório.

Tabela 6 – “Critérios de projeto para inundações” estabelecidos pelo GISTM (Adaptado de ICMM, 2020).

Classificação de Consequências	Tempo de Retorno da Vazão de Projeto	
	Operação e fechamento (cuidados ativos)	Pós-fechamento (cuidados passivos)
Baixa	200 anos	10.000 anos ou PMP/IMP
Significativa	1.000 anos	10.000 anos ou PMP/IMP
Alta	2.475 anos	10.000 anos ou PMP/IMP
Muito Alta	5.000 anos	10.000 anos ou PMP/IMP
Extrema	10.000 anos ou PMP/IMP	10.000 anos ou PMP/IMP

(1) “Precipitação Máxima Provável” (PMP) ou “Inundação Máxima Provável” (IMP) são aceitáveis se satisfizerem ou excederem o critério de TR 10.000 anos

## DISCUSSÕES

A Tabela 7 a seguir resume, de forma comparativa, os principais critérios de vazão de projeto do sistema extravasor e borda livre mínima para barragens de mineração, conforme indicado nas referências técnicas nacionais e internacionais avaliadas para o presente artigo.

A norma técnica brasileira ABNT NBR 13.028, em sua evolução desde a primeira edição em 1993 até a mais recente em 2024, mostra um aprimoramento gradual dos critérios hidrológicos aplicados aos projetos de barragens de mineração. Enquanto a versão inicial referenciava apenas à Enchente Máxima Provável (EMP) como critério de cálculo de extravasores para desativação das barragens, a versão mais recente introduz critérios mais conservadores e robustos. Dentre as mudanças, destaca-se a exigência de borda livre mínima de 1,0 m para cheia de TR 10.000 anos ou PMP, o que for maior, no caso de barragens com presença de comunidades na ZAS, independentemente do DPA; e a obrigatoriedade de utilizar a PMP ou um período de retorno de 10.000 anos, o que for maior, como critério para a vazão de projeto de extravasores de estruturas com DPA Alto e para os projetos de fechamento/descaracterização das barragens. Essas exigências demonstram uma aproximação da norma brasileira aos critérios técnicos internacionais.

Tabela 7 – Critérios de vazão de projeto do sistema extravasor e borda livre mínima para barragens de mineração, conforme indicado nas referências nacionais e internacionais avaliadas.

Referência	Classificação de Consequência / DPA	Critério da Vazão de Projeto do Extravasor	Critério de Borda Livre Mínima no Reservatório
Brasil - Resolução ANM Nº 95/2022	DPA Baixo, Médio e Alto	TR 500 anos a 10.000 anos ou PMP (o que for maior)	$\geq 1,0$ m ou conforme projeto, o que for maior, no caso de existência de comunidade na ZAS
Brasil – ABNT NBR 13.028:2024	DPA Baixo, Médio e Alto	TR 500 anos a 10.000 anos ou PMP (o que for maior)	$\geq 1,0$ m para TR 10.000 anos ou PMP (o que for maior), no caso de existência de comunidade na ZAS, independentemente do DPA
Internacional - ICOLD Bulletin 194 (2025)	Baixa a Extrema	TR 200 anos a Cheia Máxima Provável	$\geq 1,0$ metro
Austrália - ANCOLD (2019)	Baixa a Extrema	TR 100 anos a Cheia Máxima Provável	<i>Wave run-up</i> associada à rajada de vento com TR de 10 anos
Canadá - CDA (2019)	Baixa a Extrema	TR 100 anos a Cheia Máxima Provável	<i>Wave run-up</i> associada à rajada de vento com TR de 2 a 100 anos, conforme classe de DPA
Internacional - GISTM (ICMM, 2020)	Baixa a Extrema	TR 200 anos a 10.000 anos ou PMP (operação e pós-fechamento)	Não especifica

A análise comparativa entre as referências nacionais e internacionais evidencia tanto avanços quanto lacunas na consolidação de critérios hidrológicos para a segurança de barragens de mineração no país. Um dos principais desafios identificados é compatibilizar os critérios normativos e regulatórios do Brasil com os guias de boas práticas e boletins internacionais, seja por questões metodológicas de cálculos que requerem o monitoramento e disponibilidade de dados fluviométricos (vazões) e meteorológicos (vento) na escala espacial das bacias hidrográficas de contribuição às barragens de mineração; ou por uma simples compatibilidade entre a quantidade e definição clara das classes de consequências ou dano potencial associado à falha das estruturas.

Normas de países como Canadá e Austrália baseiam seus critérios em dados fluviométricos e meteorológicos extensos, permitindo o uso de abordagens como a Cheia Máxima Provável (CMP) e o cálculo de borda livre baseado em análise probabilística robusta. No Brasil, por outro lado, a carência de séries históricas de vazões confiáveis, principalmente em pequenas áreas de mineração, impõe limitações importantes. Em função disso, opta-se com frequência pelo uso da Precipitação Máxima Provável (PMP) em modelos chuva-vazão, muitas vezes um critério mais conservador. Essa diferença metodológica dificulta a adoção direta de critérios internacionais e exige adaptações que considerem a realidade técnica e institucional do país.

Outro aspecto que impacta a comparação com as normas estrangeiras é a quantidade de classes de consequência adotadas e a clareza nos critérios que as definem. Documentos internacionais, como os boletins da ICOLD ou as diretrizes do ICMM (GISTM), adotam cinco ou mais classes de risco, com descritores bem estabelecidos e métricas específicas (como vidas potencialmente afetadas, impactos ambientais e socioeconômicos). No Brasil, a classificação presente na ABNT NBR 13.028/2024 e Resolução ANM 95/2022 é menos segmentada (três classes principais) e, por vezes, carece de parâmetros objetivos claros, o que pode comprometer tanto o enquadramento da barragem quanto a definição da vazão de projeto e da borda livre associadas.

## CONCLUSÕES

Ao longo dos 30 anos, desde a sua primeira edição em 1993, a norma técnica ABNT NBR 13.028 apresentou uma notória evolução em termos de critérios mais claros e específicos de tempos de retorno de vazões de projeto dos sistemas extravasores das barragens de mineração, sobretudo nas últimas 2 versões, publicadas após as rupturas da barragem do Fundão (Mariana/MG) em 2015 e da barragem B1 (Brumadinho/MG) em 2019.

Esse aprimoramento dos critérios hidrológicos da ABNT NBR 13.028, seguiu muito bem as atualizações observadas nas últimas décadas nos guidelines e boletins internacionais sobre barragens de mineração, bem como no aprimoramento da regulação brasileira sobre segurança de barragens do setor, em especial com a publicação da Resolução ANM 95/2022, com destaque para diferenciação de critérios conforme a classificação do dano potencial (consequências) associado à ruptura das estruturas.

No que diz respeito à borda livre mínima dos barramentos, quando da ocorrência de eventos de chuvas e cheias extremas, a versão mais recente (de 2024) da norma técnica ABNT NBR 13.028 traz pela primeira vez um critério específico e rigoroso (maior ou igual a 1,0 m, para o período de retorno de 10.000 anos ou PMP, a que for mais restritiva) para as barragens de mineração cujo mapa de inundação contemple a existência de comunidade na ZAS (zona de autossalvamento).

Esse critério de borda livre mínima incorporado na ABNT NBR 13.028/2024, assim como já tinha sido especificado na Resolução ANM 95/2022, é de suma importância para redução dos riscos de galgamento e, consequentemente, aumento da segurança hidrológica-hidráulica das barragens de mineração.

Entende-se, como oportunidade de melhoria nas próximas revisões da normativa técnica e documentação regulatória da segurança de barragens de mineração, a indicação de critérios de borda livre mínima também para barramentos que não necessariamente apresentam à condição de pessoas permanentemente e/ou temporariamente dentro da mancha de inundação. Esses critérios podem ser baseados no que já é preconizado nas referências técnicas internacionais (ICOLD, ANCOLD, CDA), conforme apresentado no presente artigo, especialmente diferenciando de acordo com a classificação do DPA das estruturas.

Por fim, destaca-se que a pesquisa desenvolvida para o presente artigo indicou critérios mais rigorosos para o dimensionamento das estruturas extravasoras dos projetos de fechamento ou descaracterização das barragens, independentemente do DPA. Por exemplo: TR 10.000 anos ou PMP, o que for maior, conforme Resolução ANM 95/2022 e NBR 13.028/2024, o que representa um aspecto muito importante tendo em vista a ausência de controles de engenharia (de manutenção e operação) após a conclusão das obras e período de monitoramento ativo e passivo das estruturas.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. (1993, 2006, 2017, 2024). NBR 13.028 - Projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservatório de água. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ANCOLD. (2019). Guidelines on Tailings Dams: Planning, Design, Construction, Operation and Closure. Australian National Committee on Large Dams, Inc.
- ANM. (2022). Resolução Nº 95, de 7 de fevereiro de 2022. Estabelece critérios para a classificação, fiscalização e segurança de barragens de mineração. Agência Nacional de Mineração.
- CDA. (2019). Technical Bulletin: Dam Safety Guidelines. Canadian Dam Association.
- ICMM. (2020). Global Industry Standard on Tailings Management. International Council on Mining and Metals.
- ICOLD. (2011). Bulletin 139 - Improving Tailings Dam Safety: Critical Aspects of Management, Design, Operation, and Closure. International Commission on Large Dams.
- ICOLD. (2025). Bulletin 194 - Tailings Dam Safety. International Commission on Large Dams.

**AGRADECIMENTOS** – Os autores agradecem o apoio financeiro da Pimenta de Avila Consultoria e o contínuo incentivo à produção científica, participação em eventos e a capacitação técnica de seus colaboradores.