

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/88

## Proposta De Um Índice De Perigo Para Avaliação Da Segurança De Barragens: Estudo De Caso Da Barragem Boqueirão De Parelhas/RN.

Matheus Vinicius da Silva Azevedo  
Engenheiro Civil, UFRN, Natal, Brasil, matheusviniciusaz@hotmail.com

José Ailton da Costa Ferreira  
Doutorando em Engenharia Ambiental, UEPB, Campina Grande, Brasil, frreirailton@gmail.com

Allan Benício Silva de Medeiros  
Doutorando, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, allanbenicio08@gmail.com

Oswaldo de Freitas Neto  
Professor Efetivo, UFRN, Natal, Brasil, osvaldo.neto@ufrn.br

Olavo Francisco dos Santos Junior  
Professor Efetivo, UFRN, Natal, Brasil, olavo.santos@ufrn.br

**RESUMO:** No Brasil, a promulgação da Lei Federal nº 12.334, que estabelece Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), fortaleceu a cultura de segurança das barragens. Entretanto, a ausência de parâmetros normativos efetivos aumenta o risco de falhas dessas estruturas. A avaliação da segurança consiste na identificação de fatores de risco, que podem favorecer a ocorrência de incidentes e acidentes, e na sistematização de indicadores. Deste modo, objetivo deste estudo foi propor um Índice de Perigo da Barragem (IPB), utilizando o método Processo Analítico Hierárquico (AHP), para avaliar o nível de segurança da barragem Boqueirão de Parelhas/RN. Os indicadores foram selecionados com base na Resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e, em seguida, priorizados por especialistas com experiência na temática para compor o IPB proposto. Ao aplicar o IPB à barragem Boqueirão de Parelhas, o empreendimento foi classificado com nível de perigo médio, com valor inferior a 50%, que é equivalente à sua classificação quanto a Categoria de Risco (CRI) (médio) e Nível de Perigo Global (NPG) (alerta). Portanto, o IPB proposto pode ser aplicado a barragens de acumulação de água com características semelhantes para avaliar seu nível de perigo e auxiliar na tomada de decisão da gestão da segurança.

**PALAVRAS-CHAVE:** Barragem Ministro João Alves, Processo Analítico Hierárquico, Avaliação de Riscos, Gestão de Segurança.

**ABSTRACT:** In Brazil, the promulgation of Federal Law nº 12,334, which establishes the National Policy on Dam Safety (PNSB), has strengthened the culture of dam safety. However, the absence of effective normative parameters increases the risk of failures in these structures. Safety assessment involves identifying risk factors that may contribute to incidents and accidents and systematizing indicators. Thus, the objective of this study was to propose a Dam Hazard Index (IPB) using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to assess the safety level of the Boqueirão de Parelhas Dam in Rio Grande do Norte. Indicators were selected based on Resolution nº 143 of the National Water Resources Council (CNRH) and then prioritized by experts with experience in the subject to compose the proposed IPB. When applying the IPB to the Boqueirão de Parelhas Dam, the project was classified with a medium danger level, with a value below 50%, equivalent to the Risk Category (CRI) (medium) and Global Danger Level (NPG) (alert) classifications. Therefore, the proposed IPB can be applied to water accumulation dams with similar characteristics to assess their danger level and assist in decision-making for safety management.

**KEYWORDS:** Ministro João Alves Dam, Hierarchical Analytical Process, Risk Assessment, Safety Management.

## 1 INTRODUÇÃO

As barragens são estruturas essenciais para garantir a subsistência e o desenvolvimento de uma região, possuindo maior destaque em áreas com clima semiárido como o Nordeste brasileiro. As irregularidades na distribuição espacial e temporal da precipitação, marcada por longos períodos de seca seguidos por chuvas intensas, interferem no planejamento e na gestão dos recursos hídricos (Gomes *et al.*, 2015; Amorim *et al.*, 2020). No contexto nacional, a Lei Federal nº 12.334, de setembro de 2010, atualizada pela Lei Federal nº 14.066, de setembro de 2020, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), determina as principais diretrizes de segurança, de fiscalização e de responsabilização das barragens para reduzir os riscos a níveis aceitáveis e garantir o desempenho dos reservatórios ao longo de sua vida útil. Entretanto, os incidentes e acidentes registrados nos Relatórios de Segurança de Barragens (RSB), somados aos casos que são negligenciados e/ou subnotificados, evidenciam ainda a ausência de parâmetros normativos efetivos e de atividades de monitoramento e manutenção compatíveis com a realidade local (ANA, 2023a).

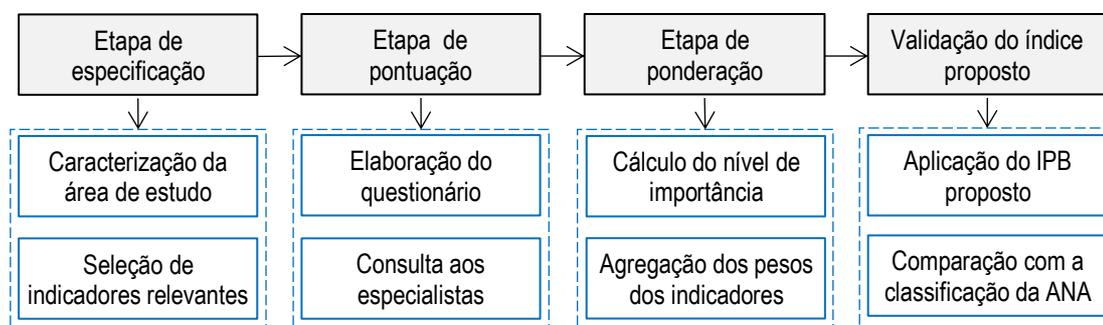
A Resolução nº 143, de julho de 2012, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos determina os critérios de classificação das barragens quanto a Categoria de Risco (CRI) e ao Dano Potencial Associado (DPA). A avaliação de risco da segurança das barragens é realizada pelo órgão fiscalizador competente por meio de inspeções visuais *in loco* para detectar as principais anomalias que podem comprometer a integridade física do barramento e de suas estruturas anexas, bem como sua magnitude, que é utilizada para obter o Nível de Perigo Global (NPG) da barragem. Tendo em vista que o risco é intrínseco à estas estruturas, é imprescindível caracterizar o vale de jusante para estimar os potenciais impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes de acidentes provocados por eventos adversos (Brasil, 2012).

Diversos estudos foram desenvolvidos para estimar o risco e as condições perigosas de uma barragem mediante uma avaliação sistemática dos indicadores de segurança (e.g. Zuffo, 2010; Aguiar *et al.*, 2015; Leite, 2019). Destacam-se os métodos multicritérios de apoio a decisão, como o Processo Analítico Hierárquico (AHP), que realiza a decomposição e síntese de uma hierarquia complexa até a priorização alternativas mais adequadas para a resolução de um problema (Carvalho e Corteletti, 2021). Portanto, o presente artigo objetiva propor um Índice de Perigo da barragem (IPB) utilizando o método AHP para avaliar o nível de perigo à segurança da barragem Boqueirão de Parelhas/RN.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo proposto, a metodologia baseou-se em quatro etapas, apresentadas na Figura 1 e detalhadas adiante.

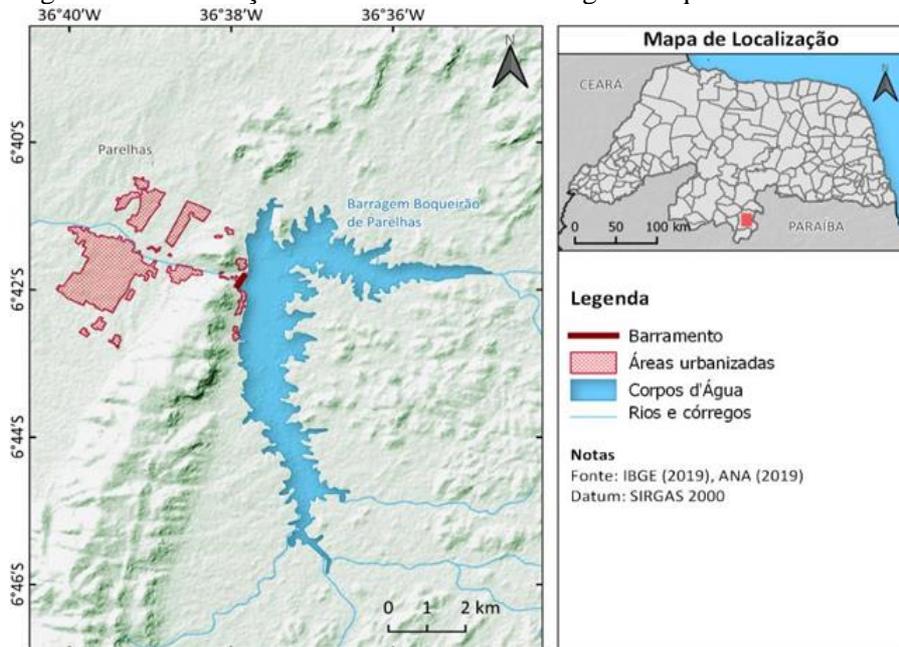
Figura 1 - Fluxograma do procedimento metodológico



### 2.1 Caracterização da área de estudo

O mapa da Figura 2 apresenta a localização da área de estudo e a área inundada pela barragem Boqueirão de Parelhas. A barragem Boqueirão de Parelhas está localizada no município de Parelhas/RN, inserida na bacia hidrográfica dos rios Piranhas-Açu, e barra os rios Seridó e das Vazantes. Ela foi construída no ano de 1988 pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídrico, e seu barramento é de terra e enrocamento, com uma capacidade de reserva máxima igual a 84,79hm<sup>3</sup> (ANA, 2023a).

Figura 2 – Localização e área inundada da barragem Boqueirão de Parelhas.



No contexto geomorfológico, a região apresenta a predominância de rochas metamórficas ortoderivadas e está inserida nos domínios morfológicos da Depressão Sertaneja e do Planalto da Borborema. Além disso, possui um clima semiárido quente, uma pluviosidade anual média de 568,2 mm (CPRM, 2005).

## 2.2 Especificação dos indicadores

Os indicadores foram selecionados com base na Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, do CNRH, que define os critérios gerais de classificação de barragens quanto a CRI e ao DPA. Tendo em vista que a CRI é composta pelos critérios Características Técnicas, Estado de Conservação e Plano de Segurança, foram extraídos apenas os indicadores mais relevantes de cada grupo (Quadro 1), acrescido do indicador Capacidade de Reservação, que mantém relação direta com o DPA e as especificações de projeto de uma barragem.

Quadro 1. Indicadores selecionados para obter o Índice de Perigo proposto. Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

| Critério                      | Indicador   |
|-------------------------------|---|
| Características técnicas (CT) | Vazão de projeto (CT <sub>1</sub> )                                       |
|                               | Capacidade de reservação (CT <sub>2</sub> )                               |
|                               | Altura (CT <sub>3</sub> )   |
|                               | Comprimento do barramento (CT <sub>4</sub> )                              |
| Estado de Conservação (EC)    | Percolação de água (EC <sub>1</sub> )                                     |
|                               | Deformação e recalque (EC <sub>2</sub> )                                  |
|                               | Deterioração da barragem e/ou paramentos (EC <sub>3</sub> )               |
| Plano de Segurança (PS)       | Confiabilidade das estruturas extravasoras e de adução (PS <sub>1</sub> ) |

## 2.3 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

O AHP transforma preferências humanas em valores numéricos para tomada de decisão de problemas estruturados. O método compreende três etapas principais: a estruturação, a definição de prioridades e julgamentos e a consistência lógica (Saaty, 1990). Neste estudo, a técnica AHP foi utilizada para determinar os pesos dos indicadores que compõe o Índice de Perigo (IP) proposto.

### 2.3.1 Pontuação dos indicadores

Foi elaborado um questionário *online*, com o auxílio da ferramenta *Google Forms*, para coletar o julgamento dos especialistas e ponderar os indicadores por meio matriz de decisão paritária. Para isso, foram convidados especialistas com experiência em segurança de barragens para atribuir os pesos aos indicadores com base em sua experiência.

### 2.3.2 Ponderação dos indicadores

Para obter a importância relativa entre os indicadores, foi realizado uma comparação paritária por meio da indicação do nível de importância pelo especialista, em uma escala de 1 a 9, onde: 1 – possuem a mesma importância; 3 – importância fraca de um sobre o outro; 5 – importância forte ou essencial; 7 – importância muito forte ou demonstrada; 9 – importância absoluta; e 2,4,6,8 – valores intermediários entre os valores adjacentes (Saaty, 1990).

Dessa forma, foi possível determinar o peso de cada indicador, a partir dos julgamentos especializados. Tendo em vista que a preferência subjetiva dos especialistas é atribuída por meio de uma escala ordinal, deve-se determinar o grau de inconsistência da matriz de comparação par a par e o quanto seu autovalor máximo se distancia da ordem da matriz. O Índice de Consistência (IC) para os pesos dos indicadores é dado pela Equação 1, onde  $\lambda_{\text{máx}}$  é o autovalor máximo e  $N$  é a ordem da matriz.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - N}{N - 1} \quad (1)$$

Para reduzir a subjetividade e a inconsistência do método, a Razão de Consistência (RC), apresentada na Equação 2, compara o IC da matriz resultante em relação ao Índice de consistência Randômico (IR), conforme a ordem da matriz (Tabela 1). A matriz de comparação paritária será considerada consistente quando  $RC \leq 0,10$ . Caso contrário, o especialista deve ser convidado para reavaliar seu julgamento (Saaty, 1990). Por fim, foi realizada a agregação dos julgamentos dos especialistas a partir do cálculo da média geométrica e obter um resultado para o grupo.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Tabela 1. Índice de consistência randômico médio conforme a ordem da matriz produzida. Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012).

| Ordem (n) | 1   | 2   | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
|-----------|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IR        | 0,0 | 0,0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,48 | 1,56 | 1,57 |

### 2.3.3 Agregação do peso dos indicadores

A agregação dos indicadores foi realizada por meio do método aritmético de média ponderada. De acordo com a Resolução nº 143 do CNRH, cada indicador possui um intervalo de valores que representa a intensidade do problema. Para obter um valor de IPB que varie de 0 a 1, a pontuação de cada indicador foi normalizada na base 100, conforme apresentado no Quadro 2.

Cada indicador normalizado é multiplicado pelo seu peso correspondente, resultando em um somatório dos produtos obtidos, dado pela Equação 3. Na qual, IPB é índice de perigo da barragem,  $w_i$  corresponde ao peso atribuído ao indicador,  $I_i$  cada indicador selecionado e  $n$  é o número total de indicadores. O IPB foi categorizado em quatro classes, considerando os intervalos interquartis, para classificar a barragem quanto ao seu nível de perigo.

$$IPB = \sum_{i=0}^n w_i \cdot I_i \quad (3)$$

Quadro 2. Pontuação dos indicadores normalizada. Fonte: Adaptado de Brasil (2012)

| Indicador       | Pontuação do CNRH | Pontuação normalizada | Descrição  |
|-----------------|-------------------|-----------------------|--|
| EC <sub>1</sub> | 0                 | 0,00                  | Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem  |
|                 | 3                 | 37,50                 | Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas   |
|                 | 5                 | 62,50                 | Umidade ou surgência sem tratamento ou em fase de diagnóstico  |
|                 | 8                 | 100,00                | Surgência em áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras com carregamento de material ou com vazão crescente                                      |
| EC <sub>2</sub> | 0                 | 0,00                  | Inexistente  |
|                 | 1                 | 12,50                 | Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo   |
|                 | 5                 | 62,50                 | Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável  |
|                 | 8                 | 100,00                | Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos  |
| EC <sub>3</sub> | 0                 | 0,00                  | Inexistente  |
|                 | 1                 | 25,00                 | Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de pequenos arbustos   |
|                 | 2                 | 50,00                 | Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada  |
|                 | 4                 | 100,00                | Depressões acentuadas nos taludes com potencial de comprometimento da segurança  |
| PS <sub>1</sub> | 0                 | 0,00                  | Estruturas civis e hidroeletrônicas em pleno funcionamento   |
|                 | 4                 | 40,00                 | Estruturas civis e hidroeletrônicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência                                    |
|                 | 7                 | 70,00                 | Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas |
|                 | 10                | 100,00                | Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas |
| CT <sub>1</sub> | 3                 | 0,00                  | Cheia Máxima Provável (CMP) ou Decamilar   |
|                 | 5                 | 28,57                 | Milênar  |
|                 | 8                 | 71,43                 | TR = 500 anos  |
|                 | 10                | 100,00                | TR < 500 anos ou Desconhecida/Estudo não confiável   |
| CT <sub>2</sub> | 1                 | 0,00                  | $V \leq 5$ milhões m <sup>3</sup>  |
|                 | 2                 | 25,00                 | $5 \times 10^6 \text{ m}^3 < V < 75 \times 10^6 \text{ m}^3$   |
|                 | 3                 | 50,00                 | $75 \times 10^6 \text{ m}^3 \leq V \leq 200 \times 10^6 \text{ m}^3$   |
|                 | 5                 | 100,00                | $V > 200 \times 10^6 \text{ m}^3$  |
| CT <sub>3</sub> | 0                 | 0,00                  | $H \leq 15$ m  |
|                 | 1                 | 33,33                 | $15 \text{ m} < H < 30 \text{ m}$  |
|                 | 2                 | 66,67                 | $30 \text{ m} \leq H \leq 60 \text{ m}$  |
|                 | 3                 | 100,00                | $H > 60 \text{ m}$   |
| CT <sub>4</sub> | 2                 | 0,00                  | $C \leq 200 \text{ m}$   |
|                 | 3                 | 100,00                | $C > 200 \text{ m}$  |

### 2.3 Validação do Índice de Perigo

A Barragem Boqueirão de Parelhas foi utilizada para validar o (IPB) devido à sua relevância hídrica para o estado do Rio Grande do Norte. As informações dos indicadores foram extraídas do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) e dos relatórios de Inspeção de Segurança Regular (ISR) elaborados pela ANA (ANA, 2023).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Fase de especificação, pontuação e ponderação dos indicadores

O questionário foi respondido por cinco especialistas, divididos entre profissionais do Instituto de Gestão e Águas do Rio Grande do Norte (IGARN), da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH/RN) e professores e pós-graduandos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Todas as matrizes de comparação par a par apresentaram Razão de Consistência (RC) inferior a 0,01 e, em seguida, foram agregadas para obter um único valor para a decisão em grupo. A Tabela 2 apresenta as avaliações numéricas e os pesos correspondentes aos indicadores para a decisão em grupo.

Na Tabela 2, observa-se que os indicadores Confiabilidade das estruturas extravasoras e de adução (PS<sub>1</sub>) e Deformação e recalques (EC<sub>2</sub>) possuem a maior importância frente as demais alternativas. Os indicadores Percolação (EC<sub>1</sub>) e Deterioração do barramento (EC<sub>3</sub>), que correspondem ao estado de conservação da barragem e de suas estruturas anexas, também apresentaram forte importância, superior a 15%. Na Resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), quando qualquer indicador do critério Estado de Conservação (EC) é maior ou igual a oito, as barragens são automaticamente classificadas com Categoria de Risco (CRI) alta, justificando a preferência desses indicadores para determinar o nível de perigo de barragens.

Tabela 2. Avaliação numérica agregada da decisão em grupo.

| Indicador       | EC <sub>1</sub> | EC <sub>2</sub> | EC <sub>3</sub> | PS <sub>1</sub> | CT <sub>1</sub> | CT <sub>2</sub> | CT <sub>3</sub> | CT <sub>4</sub> | Peso (w) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| EC <sub>1</sub> | 1               | 1               | 1 2/9           | 5/7             | 3 1/6           | 3 7/8           | 6               | 7 1/3           | 0,1899   |
| EC <sub>2</sub> | 1               | 1               | 1 3/4           | 1 2/9           | 3 1/2           | 5               | 6               | 8               | 0,2252   |
| EC <sub>3</sub> | 5/6             | 4/7             | 1               | 5/7             | 3               | 3               | 4 1/2           | 7               | 0,1552   |
| PS <sub>1</sub> | 1 2/5           | 5/6             | 1 2/5           | 1               | 3 7/8           | 5               | 7               | 9               | 0,2271   |
| CT <sub>1</sub> | 1/3             | 2/7             | 1/3             | 1/4             | 1               | 3               | 3 7/8           | 6 1/2           | 0,0883   |
| CT <sub>2</sub> | 1/4             | 1/5             | 1/3             | 1/5             | 1/3             | 1               | 2 4/9           | 5               | 0,0559   |
| CT <sub>3</sub> | 1/6             | 1/6             | 2/9             | 1/7             | 1/4             | 2/5             | 1               | 5 2/7           | 0,0397   |
| CT <sub>4</sub> | 1/7             | 1/8             | 1/7             | 1/9             | 1/7             | 1/5             | 1/5             | 1               | 0,0188   |

Por outro lado, o indicador Comprimento do barramento (CT<sub>4</sub>) apresentou a menor preferência entre as alternativas, sendo inferior a 2%. Ressalta-se que apesar das características técnicas de um reservatório serem importantes para avaliar o risco de falhas, a combinação de um ou mais fatores podem aumentar o perigo de rompimento na ausência de atividades de monitoramento e manutenção efetivas da barragem e comprometimento da integridade física dos seus elementos estruturais, que favorecem o desenvolvimento de potenciais modos de falhas. Observa-se ainda que o indicador Capacidade de reservação (CT<sub>2</sub>) também apresentou baixa importância relativa para determinar o perigo de rompimento, apesar de estar diretamente relacionado aos potenciais danos no vale de jusante decorrente de acidentes, conseqüentemente, estando mais relacionado ao risco associado. Deste modo, a comparação destes indicadores com aqueles relacionados diretamente ao desempenho e confiabilidade da barragem, resulta em uma baixa preferências entre as alternativas. Este fato é evidenciado no peso do indicador Vazão de projeto (CT<sub>1</sub>) que mantém relação direta com o indicador PS<sub>1</sub>. Nesta perspectiva, o Índice de Perigo da barragem (IPB) foi obtido por meio da agregação dos produtos entre os pesos finais encontrados e seus respectivos indicadores (Equação 4). A fim de avaliar o nível de perigo de uma barragem, utilizou-se os intervalos interquartis para categorizar o IPB em quatro classes, conforme apresenta o Quadro 3.

No Quadro 3, valores de IPB inferiores a 25 correspondem a barragens que apresentam bom estado de conservação e possuem atividade de manutenção preventiva e corretiva contínuas. Quando forem identificadas anomalias que não comprometem a segurança da barragem a curto prazo, mas, que podem favorecer potenciais modos de falhas, as barragens podem ser enquadradas com nível de perigo médio, com IPB abaixo de 50, ou alto, para o caso de valores de IPB maiores que 50, onde o empreendedor deve mitigar as anomalias encontradas para garantir o desempenho dos reservatórios frente a eventos adversos. De forma análoga, valores de IPB superiores a 75 não significam necessariamente que a barragem poderá falhar, mas que é imprescindível a adoção de medidas de segurança eficazes e em tempo compatível com os problemas encontrados para garantir sua segurança.

$$IPB = 0,1899 \cdot EC_1 + 0,2252 \cdot EC_2 + 0,1552 \cdot EC_3 + 0,2271 \cdot PS_1 + 0,0883 \cdot CT_1 + 0,0559 \cdot CT_2 + 0,0397 \cdot CT_3 + 0,0188 \cdot CT_4 \quad (4)$$

Quadro 3. Classificação do nível de perigo.

| Intervalo       | Classificação |
|-----------------|---------------|
| IPB < 25%       | Baixo         |
| 25% ≤ IPB ≤ 50% | Médio         |
| 50% ≤ IPB ≤ 75% | Alto          |
| IPB > 75%       | Muito alto    |

### 3.2 Aplicação do Índice de Perigo da Barragem Boqueirão de Parelhas

De acordo com o RSB (ANA, 2022), a barragem Boqueirão de Parelhas foi classificada com CRI média e DPA alto. No ISR realizado pela ANA (ANA, 2023b), verificou-se a existência de vegetação ao longo dos taludes de montante e jusante, de pequenos trechos irregulares no *rip-rap* e enrocamento próximos ao coroamento, e de erosão de pequena magnitude nos encontros com as ombreiras, mas que não comprometem a segurança da barragem a curto prazo.

Destacam-se ainda a ausência de canaletas ao longo do talude de jusante e a presença de vegetação nos canais de aproximação e de restituição da barragem, bem como a existência de edificações irregulares próximas ao canal de aproximação do vertedouro. Como o nível do reservatório se encontra em uma cota baixa, cerca de 6,65% da sua capacidade máxima de acumulação, devido à ausência de chuvas na região, não foi possível verificar problemas relacionadas a percolação da água através do barramento. Entretanto, foram identificados sinais de erosão nos equipamentos hidromecânicos e estado de má conservação da escada de acesso à torre de tomada d'água e casa de comando, o que indica a ausência de atividades de monitoramento e manutenção adequada de seus componentes. Nesta perspectiva, o IPB de Boqueirão de Parelhas foi obtido com base nas pontuações normalizadas do Quadro 2, substituídas na Equação 4, resultando na Equação 5:

$$IPB_{\text{Boqueirão}} = 0,1899 \cdot 37,5 + 0,2252 \cdot 12,5 + 0,1552 \cdot 25 + 0,2271 \cdot 70 + 0,0883 \cdot 100 + 0,0559 \cdot 50 + 0,0397 \cdot 33,33 + 0,0188 \cdot 100 = 44,54 \quad (5)$$

Conforme classificação do Quadro 3, a barragem Boqueirão de Parelhas possui um nível de perigo médio. Os registros e análises realizadas demonstram que seu estado atual é normal sob o ponto de vista de segurança, sendo classificada consoante a Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017, atualizada pela Resolução nº 121, de 9 de maio de 2022, com nível de Alerta. Apesar disso, as anomalias detectadas não apresentam risco direto à segurança do empreendimento a curto prazo, devendo ser realizada a supressão da vegetação, e executados serviços de manutenção corretiva dos taludes, cristas, vertedouros e equipamento hidromecânicos. Dessa forma, o IPB proposto classificou a barragem Boqueirão de Parelhas em categorias equivalentes em relação a CRI e ao NPG utilizada pelos órgãos fiscalizadores de segurança de barragens.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo propôs e definiu um Índice de Perigo da barragem (IPB) utilizando o método AHP, para avaliar o nível de perigo à segurança da barragem Boqueirão de Parelhas/RN. O IPB proposto utilizou o método AHP para incorporar a experiência dos especialistas ao processo avaliativo e, por sua vez, determinar o nível de perigo de segurança de barragens de acumulação de água. Nas etapas de pontuação e ponderação, verificou-se que os indicadores Deformação e Recalque e Confiabilidade das Estruturas Extravasoras e de adução apresentaram a maior importância para compor o índice, pois estão diretamente relacionados à integridade física do barramento. Por outro lado, os indicadores que pertencem ao critério Características Técnicas, obtiveram baixa preferência frente às demais alternativas, com destaque para o indicador Comprimento do Coroamento.

Ao aplicar o IPB à barragem Boqueirão de Parelhas, o barramento foi classificado com nível de perigo médio, com valor inferior a 50%. Ao comparar este resultado com a classificação da barragem quanto à CRI (médio) e ao NPG (alerta), o IPB possui categorias equivalentes. Este fato se justifica nas anomalias relatadas no relatório de Inspeção de Segurança Regular (ISR), que não fornecem risco imediato à segurança da barragem a curto prazo e requerem a execução de medidas de manutenção do barramento e de suas estruturas anexas. Portanto, o IPB proposto pode ser aplicado a barragens de acumulação de água com características semelhantes para avaliar seu nível de perigo e auxiliar na tomada de decisão da gestão da segurança.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, D. P. O.; Feis, L. M. C. F. ; Dalfré Filho, J. G. ; Genovez, A. I. B. (2015) Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens - ISB. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, p. 360-368.
- Amorim, A. C. B.; Lucio, P. S.; Silva, C. M. S.; Rodrigues, D. T.; Brito Neto, F. A. (2020) Regionalização e Análise da Tendência da Precipitação do Rio Grande do Norte Associados a Padrões de TSM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 2, p. 269–80.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2023b). *Relatórios de Inspeção de Segurança – dados cedidos*. ANA: Brasília.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2023a). *Relatório de Segurança de Barragens 2022*. Brasília. Disponível em: <https://www.snisd.gov.br/portalsnisd/api/file/download/145/4/rsb-2020.pdf> acesso em: 15 mar. 2024.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2022b). *Resolução nº 121, de 09 de maio de 2022*. Altera a Resolução ANA nº 236, de 30 de janeiro de 2017. ANA: Brasília.
- Brasil. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. *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, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União: Brasília, 2010.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. *Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012*. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da União: Brasília, 2012.
- Brasil. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. *Lei n. 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). Diário Oficial da União: Brasília, 2020.
- Carvalho, G. B.; Corteletti, R. C. (2021) Proposta metodológica para previsão de impactos decorrentes de acidentes com barragens de rejeito. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 26(3), 525–534.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2005). *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea*. Diagnóstico do município de Parelhas, estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM.
- Faria, D. G. M; Augusto Filho, O. (2013) Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. *Revista do Instituto Geológico*, [s.l.], v. 34, n. 1, p.23-44. GN1 Genesis Network.
- Gomes, H. B.; Ambrizzi, T.; Herdies, D. L.; Hodges, K.; Silva, B. F. P. (2015) Easterly Wave Disturbances over Northeast Brazil: An Observational Analysis. *Advances in Meteorology*, v. 2015, p. 1-20.
- Leite, S. R. (2019) *Modelo para Avaliação de Riscos em Segurança de Barragens com associação de métodos de análise de decisão multicritério e Conjuntos Fuzzy*. 2019. xxi, 197 f., il. Dissertação (Mestrado Profissional em Computação Aplicada) – Universidade de Brasília, Brasília.
- Saaty, T. L. (1990) How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v. 48, p. 9–26.
- Saaty, T. L.; Vargas, L. G. (2012) How to make a decision: models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process. *Int Ser Oper Res Manag Sci* 175:1–21.
- Zuffo, M. S. R. (2010) *Análise de risco em barragens: um índice de priorização*. 265 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Eng. Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP.