

## XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ISB PARA ANÁLISE DA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE QUIPAPÁ-PE**

v

*Emerson Thiago da Silva<sup>1</sup> ; Artur Paiva  
Coutinho<sup>2</sup>, Sergio Manoel da Silva<sup>3</sup>,  
Emanuel Victor Marques Bezerra<sup>4</sup>, Athos  
Murilo Queiroz Araújo<sup>5</sup>*

**RESUMO** – A presente pesquisa, buscou aplicar a metodologia ISB (índice de Segurança de Barragens) para analisar as condições de risco quanto à segurança da Barragem de Pau Ferro em Quipapá/PE. O presente estudo é importante pois traz uma discussão nessa temática, diante das catástrofes envolvendo as barragens do cenário Brasileiro. Este contexto alimenta dúvidas na população adjacente as barragens, no tocante a atual situação de segurança da mesma. O método do ISB, consiste em analisar dezoito critérios que englobam aspectos quanto ao potencial de risco, performance e fatores ambientais. Este estudo também buscou coletar informações sobre a opinião da comunidade de Pau Ferro, quanto a percepção

da segurança desta barragem através da aplicação de um questionário. Com base nos resultados obtidos, foi verificado que a barragem apresenta aspectos que precisam ser melhorados, tais como, a manutenção e monitoramento adequados para o porte do empreendimento. Conclui-se que a população precisa estar mais bem informada sobre as reais condições da barragem, também se fazendo necessário a implementação de um plano de ação emergencial, com objetivo de que seja possível minimizar os danos, em caso de um possível acidente.

**ABSTRACT**– This research sought to apply the ISB (Dam Safety Index) methodology to analyze the risk conditions regarding the safety of the Pau Ferro Dam in Quipapá / PE. The present study is important and brings a discussion on this theme, facing the catastrophes involving the dams of the Brazilian scenario. This context feeds doubts in the population surrounding the dams, regarding the current safety situation of the dam. The ISB method consists of analyzing eighteen criteria that encompass aspects regarding risk potential, performance and environmental factors. This study also sought to collect information about the opinion of the community of Pau Ferro, regarding the perception of safety of this dam through the application of a questionnaire. Based on the results obtained, it was found that the dam has aspects that need to be improved, such as the proper maintenance and monitoring for the size of the project. It is concluded that the population needs to be better informed about the actual conditions of the dam, and it is also necessary to implement an emergency action plan in order to minimize damage in the event of a possible accident.

<sup>1</sup>) UFPE: Rua Edson Borges da Fonseca, 43, Maurício de Nassau, Caruaru-PE, (81) 9 9447-9229, emerson.thiagoo@outlook.com

<sup>2</sup>) UFPE: Rua Edson Borges da Fonseca, 43, Maurício de Nassau, Caruaru-PE, (81) 9 9117-7897, artur.coutinho87@gmail.com

<sup>3</sup>) UFPE: Rua Edson Borges da Fonseca, 43, Maurício de Nassau, Caruaru-PE, (81) 9 9525-4791, sergio.manoell@outlook.com

<sup>4</sup>) UFPE: Rua Edson Borges da Fonseca, 43, Maurício de Nassau, Caruaru-PE, (87) 9 9947-1629, emanuelvbezerra@gmail.com

<sup>5</sup>) UFPE: Rua Edson Borges da Fonseca, 43, Maurício de Nassau, Caruaru-PE, (81) 9 8261-5630, athosm.eng@gmail.com

**Palavras-Chave** – Patologia, dano potencial.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é um país rico em recursos naturais, se destaca por sua vez os recursos hídricos, a economia do Brasil vem crescendo nas últimas quatro décadas, um dos fatores para esse crescimento são os recursos hídricos que por sua vez desempenha diversos papéis importante para a economia do país. Sendo assim esse recurso um fator importante, ocorreram diversas obras de barragens, com o objetivo de preservar esses recursos e dar continuidade ao crescimento econômico do Brasil. (CBDB, 2011).

As barragens vêm desempenhando um importantíssimo papel na vida do homem, ela é responsável pelo desenvolvimento econômico. Os colapsos dessas obras, que são desde as antiguidades um problema, mostram de que forma eram feitos os seus processos construtivos, tornando uma execução simples e de fácil recurso. O responsável pelas execuções aproveitava-se de cursos d'água e construíam barreiras de terra, faziam usos de matérias como o próprio solo, rochas e pedra (JANSEN, 1983).

Um dos aumentos na preocupação da segurança das barragens foi devido ao aumento populacional direcionada a jusante da mesma, as condições tecnológicas, os avanços nos

estudos científicos e cada ano que se passa novas informações na área hidrológica, segundo (MATOS, 1998).

A utilização de barragens no Brasil tem uma grande importância para a sociedade, devido as suas diversas utilizações, tais como, abastecimento de água, irrigação, prevenção de enchentes, geração de energia elétrica, dentre outros. Para a região da Mata Sul de Pernambuco, essa importância se dá pelo fato de a ocorrência de enchentes nessa área terem sido um problema recorrente em curtos intervalos de tempo. Faz-se necessária toda uma precaução na segurança deste tipo de obra, para evitar futuros transtornos que possam comprometer a jusante. Diante do problema a aplicação do método ISB (Índice de Segurança de Barragens) tem como objetivo avaliar o grau de risco para a segurança da barragem do Pau Ferro na microrregião da mata sul em Quipapá Pernambuco.

Para minimização dos riscos inerentes a essa obra, o presente estudo através do método do Índice de Segurança de Barragem, traz uma série de informações metodológicas, que busca minimizar ao máximo a subjetividade inerente a qualquer tipo de avaliação, por meio do estabelecimento de funções de valor e pesos relativos a cada critério de avaliação que colabora para a conformidade final da condição de segurança de uma barragem. Este

método (ISB) poderá ser calculado para diferentes obras e informará as características básicas de segurança que cada empreendimento se encontra.

Diante desta problemática, o presente estudo tem a finalidade de realizar uma análise da segurança da barragem do Pau Ferro utilizando-se a aplicação de parte da metodologia do ISB (indicador de Segurança de Barragens).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Barragens

Barragem é uma grande estrutura de concentração de água, o qual se tornou uma das obras mais importante para sociedade, pelo fato de ser uma das soluções em tempos de seguidões em algumas épocas do ano. Essa estrutura de contenção tem por objetivo a capacidade de reter água por um longo período de tempo o que é vantajoso no tempo estiado, por sua vez está interligada por uma estrutura de fundação conjunto interno dessa obra e uma composição de taludes bem definidos garantindo assim sua estabilidade e segurança (CRUZ, 1996, p. 280).

Para a classificação das barragens existem vários critérios, sendo definida por sua forma geométrica, o grau de rigidez ou simplesmente o material empregado na construção dessa obra. Quando se trata de uma

barragem de concreto classificamos em uma barragem rígida, já para as de aterros tem por característica a não rigidez (POSSAN, 2012).

Como exemplo de barragens, tem-se:

- Barragens de gravidade;
- Barragens de contrafortes;
- Barragens em arco ou arco-gravidade;

### Segurança de barragens

É um dos assuntos que tem mais crescido quando se trata da segurança de barragens, pois as leis e fiscalizações de barragens estão priorizando a tomada de análise de segurança nas jusantes dessa obra, uma vez que a mesma traz vários riscos ambientais, pessoais e bens materiais, em consequência de uma transposição de massa de água advinda de uma cheia.

Em virtude da segurança são determinadas por lei que sendo de pequeno ou grande porte essas obras têm que ser gerida por um mapeamento de possíveis inundações e é necessária toda uma preparação no que diz respeito a desocupação da jusante do local. Difere-se para cada região um plano obrigatório de alerta ou uma implantação de emergência nas barragens de grandes portes, ou seja, que retém uma grande massa de água (CARMO, 2013).

As medidas adotadas vão além das estruturas são possíveis adotar medidas não

estruturais para garantir uma boa segurança dentre alguns está à monitoração das barragens, zoneamento, análise de risco, sistema de alerta, planejamento de evacuação, comportamento dos gestores e residentes e por fim no planejamento da emergência. Tudo isso é norteado por algumas estratégias que são o princípio da prevenção de acidente fazendo parte esse do risco interno, princípio da minimização dos danos o que garante a segurança externa do que está a jusante dessa barragem (ALMEIDA, 1999).

### **Legislação de Barragem**

A inserção legal do Brasil na temática de Segurança de Barragens se deu com a promulgação da Lei n. ° 12.334 de 20 de setembro de 2010, no qual os diversos órgãos fiscalizadores foram inseridos no tema para executá-lo, como a Agência Nacional de Águas (ANA), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e seus órgãos descentralizados e a Agência Nacional de Mineração (ANM) (NEVES, 2018).

A Lei n. ° 12.334, de 20 de setembro de 2010 aplica-se a barragens que apresentem pelo menos uma das seguintes características, estando, desta forma, inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros); Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m<sup>3</sup> (três milhões de metros cúbicos); Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Com base nas boas práticas de gestão de segurança adotadas internacionalmente, a PNSB criou uma série de obrigações aos empreendedores, visando à implantação de um efetivo sistema de gestão de segurança de barragens, tais como (MARTINI 2018):

- Elaborar o Plano de Segurança da Barragem e o Plano de Ação de Emergência;
- Realizar Inspeções de Segurança Regular e Especial em sua(s) barragem(ns);
- Realizar a Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

De acordo com o Art. 2º da Lei nº 12.334 Brasil (2010), um órgão fiscalizador constitui autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalizações da segurança da barragem de sua competência. Na esfera federal, quatro órgãos têm prescrições de fiscalização em termos da segurança de barragens, em função da natureza

e das finalidades do empreendimento ilustrado na Figura 1 (MARTINI 2018).

A Agência Nacional de Águas (ANA) é a responsável por organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB); promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens; coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens; e receber denúncias dos demais órgãos ou entidades fiscalizadores sobre qualquer não conformidade que implique em risco imediato à segurança ou qualquer acidente ocorrido nas barragens (Resolução ANA nº 742/2011).



Figura 1 – Órgãos fiscalizadores federais no âmbito da PNSB (Fonte: Martini, 2018).

No caso de barragens de contenção de rejeitos de mineração, o DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

é o órgão responsável. O IBAMA é responsável pela fiscalização das barragens de resíduos industriais sendo ela a entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação para este fim (MARTINI 2018).

### Métodos de Avaliação de Segurança em Barragem

É impossível falar de segurança sem dizer os prejuízos causados à jusante dessas obras, assim os modelos de análise de riscos trazem consigo os aspectos estruturais e o grau de danos ocasionados possivelmente à jusante (DUARTE, 2018).

Esse método do Índice de Segurança de Barragem proposta por Zuffo (2015), vem para mostrar que é um dos métodos muito eficaz em seus resultados, considerado um dos mais efetivos na segurança de barragens.

Os dezoito critérios que compõe o ISB proposto por Zuffo (2005) são: Importância da barragem; Dimensões; Tipo de Barragem; Tipo de vertedor; Período de retorno da obra de descarga; Instalações à jusante; Instalações à montante; Idade da barragem; Qualidade geral dos dados técnicos; Presença de vazamentos; Presença de deformações; Deterioração em aspectos gerais e taludes; Evidências de erosão à jusante; Conservação do vertedor para prevenção de enchentes; Eutrofização no reservatório; Alteração do uso e ocupação do solo;



Eliminação da vegetação natural ou implantada; Histórico de acidentes relacionados com a barragem.

Assim para Zuffo (2015), os valores obtidos são arbitrários levando em consideração que todos os valores podem assumir critérios diferenciados, resultando da pior e melhor condição dessas estruturas.

Em seguida depois de definir a verificação dos conceitos de cada critério, efetua-se o cruzamento na função de valor, a fim de se obter a nota  $q_i$ , em seguida, essa nota  $q_i$  é elevada ao peso  $w_i$ , obtido através da função equivalente ao critério em análise. Assim, o valor do ISB para a barragem como um todo é adquirido a partir do produtório das notas obtidas, de acordo com a Eq. 1, definida por Zuffo (2015):

$$ISB = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

Para a Eq.1 os coeficientes apresentados são:  $q_i$ : nota do critério analisado;  $w_i$ : peso correspondente ao critério analisado;  $n$ : número de critérios analisados = 18;  $i$ : critério analisados.

Os dados da aplicação da metodologia ISB foram adquiridos por meio de pesquisas de campo, visitas e coleta das características da barragem. Além disso, foram coletados dados

através de questionários com a população adjacente a localização da barragem com o objetivo de captar informações ao aspecto social desta pesquisa.

### **Características gerais da Barragem Pau Ferro**

Barragem Pau Ferro, está localizada na bacia hidrográfica do Rio Una. Segundo a APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), a bacia do rio Una apresenta uma área de 6.740,31 km<sup>2</sup>, dos quais 6.262,78 km<sup>2</sup> estão inseridos no Estado de Pernambuco, correspondendo a 6,37 % do total do Estado.

A construção dessa grande obra foi motivada pela necessidade de contenção dos grandes volumes de águas precipitadas na região nos períodos chuvosos, que provoca eventos recorrentes de enchentes nas cidades da região da Mata Sul do estado de Pernambuco. A mesma, localiza-se na cidade de Quipapá, na zona rural, distrito de Quipapá.

A fiscalização da barragem é de competência da COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento). O sistema é composto de dois barramentos, sendo o principal formado pelo maciço de concreto compactado a rolo (CCR) e concretos convencionais.

A Figura 2 mostra a vista aérea da barragem Pau Ferro e localização da mesma, em relação a população adjacente.



Figura 2 - Vista aérea da Barragem Pau Ferro, Quipapá – PE (Fonte: Google Earth (2019)).

As principais características da barragem principal, bem como as estruturas de concreto armado, concreto CCR com face a montante de CCV.

O barramento principal, em concreto, 32,61 metros de altura máxima; cota do

coroamento de 536 m e largura de 5 m; cota da soleira do vertedouro de 531,50 m possui capacidade para armazenar 12.174.950 milhões de metros cúbicos de água, tendo também como comprimento 213 m incluso o vertedouro

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicou-se a metodologia ISB baseado em informações levantadas e observadas da barragem de Pau Ferro na região de Quipapá, foi possível obter todas as informações e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1 conforme detalhe a seguir.

Nº	Critério	Nota	Nota <sup>Peso</sup>
1	1. Importância da barragem	13	1,15
2	2. Dimensões da barragem	50	1,27
3	3. Tipo de barragem	100	1,25
4	4. Tipo de vertedor	16	1,15
5	5. Período de retorno	30	1,24
6	6. Instalações a jusante	10	1,14
7	7. Instalações a montante	40	1,17
8	8. Idade da barragem	56	1,23
9	9. Qualidade geral dos dados técnicos	100	1,27
10	10. Presença de vazamentos	20	1,21
11	11. Presença de deformações	5	1,11
12	12. Nível de deterioração em aspectos gerais e taludes	5	1,09
13	13. Evidências de erosão a jusante	100	1,34

14	14. Conservação do vertedor para prevenção de enchentes	100	1,36
15	15. Eutrofização no reservatório	85	1,19
16	16. Alteração do uso e ocupação do solo	100	1,23
17	17. Eliminação da vegetação natural ou implantada	40	1,18
18	18. Histórico de acidentes relacionados com a barragem	5	1,09
-	Índice de Segurança de Barragens	-	29,37

Tabela 1 – Postos pluviométricos utilizados Fonte: Autores (2020).

A nota obtida no ISB para a barragem Pau Ferro foi de 29,37. De acordo com essa nota, a classificação dessa barragem quanto a segurança é de que a mesma se encontra em condições insatisfatória (Tabela 2).

Tabela 2 – Interpretação dos valores do ISB obtidos por Zuffo (2005)

Resultado do ISB	Classificação de Segurança
91 – 100	Condição Boa
81 – 90	Condição Satisfatória
61 – 80	Condição Regular
31 – 60	Condição Deficiente
1 – 30	Condição Insatisfatória

Zuffo (2005) recomenda que para barragens classificadas como condições insatisfatória, seja realizada a recuperação dos problemas imediatos contando com todos as correções adequadas dos problemas avaliados, e feita a inspeção de reavaliação do ISB após 3 meses.

Á aplicação desse método foi baseado em coleta de dados, com acesso a informações de projetos básicos e estudos recentes dos órgãos responsáveis, levando em consideração o acesso da barragem, levantamento de informações em campo.

Realizou-se um questionário em uma amostra de 86 habitantes entre 21 e 65, dentre os 1200 habitantes do distrito adjacente a Barragem do Pau Ferro no Município de Quipapá. O questionário tem um total de 6 questões e 3 opções de resposta: sim, não e não tenho opinião. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Figura 3. Analisando os resultados obtidos foi observado que maior parte da população se sente insegura com a segurança da barragem.

Fica evidente que a falta de informações das autoridades em relação à segurança dessa barragem, é a parte principal para as informações ficarem distorcidas entre a comunidade acarretando medo, insegurança devido ao grande porte da barragem, além



disso, se agrava mais ainda o medo da população nos tempos chuvoso. Durante toda entrevista se viu que os moradores em grande parte pensam em deixar a comunidade adjacente devida o trauma de muitos ocorridos

despertando ainda mais seus medos, pois se reclamam que não há um plano de ação e não se quer uma manutenção periódica, sem sistema de alerta e não se quer uma palestra ou treinamento para evacuar se caso for preciso.

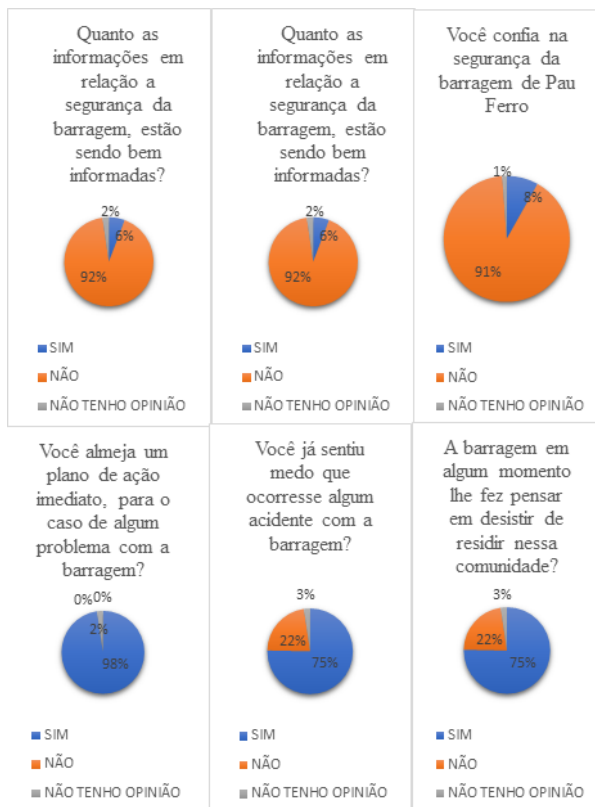


Figura 3 - Respostas do questionário aplicado a comunidade adjacente a barragem (Fonte: Autores, 2020).

Todos esses questionamentos realizados pela população são oriundos do desconhecimento da comunidade sobre as condições técnicas da barragem e isso se reflete nos resultados obtidos e apresentados nos gráficos, logo faz-se necessário a realização de um trabalho social e de divulgação da situação que a barragem se encontra e as medidas tomadas pelos órgãos competentes.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A barragem de Pau Ferro foi avaliada pela classificação do ISB que é uma metodologia mais rígida uma vez que atribui pesos específicos para cada critério, está em uma situação de insatisfatória e em um estado de medida emergência no que se refere a manutenções, pois foi observado o fato de haver a presença de núcleos urbanos muito próximos ao barramento, a população dependente deste empreendimento, destacando assim a importância de um plano de ação emergencial como também a disponibilidade de diretrizes mínimas e informações que auxiliem a população em caso de emergência de forma a prevenir qualquer dano sociais, econômicos e ambientais.

O questionário aplicado na comunidade do Pau Ferro foi feito para reforçar mais ainda este presente estudo, visto os sentimentos de insegurança que é tomada por toda população a jusante, alegando conviver com um empreendimento de grande porte e com grande perigo a comunidade, sobretudo pela falta de informações,

manutenções e, além disso, a inexistência de monitoramento e fiscalização. A maior parte da comunidade já pensou em deixar sua residência por se sentir inseguras quanto a barragem, principalmente quando é em tempos mais remotos de dias chuvosos a qual faz a barragem transbordar ocasionando o pavor e medo para a população.

Os resultados desse questionário foram de suma importância e colaborou para as devidas conclusões, onde se pode compreender que a população é vítima de uma má administração dos órgãos competentes e facilitou nas informações dos critérios observados no método ISB mesmo impossibilitado da condição final, mas se mostrou uma metodologia de fácil execução e de importante aplicação para a segurança de barragens.

## REFERÊNCIAS

- ANA (2017). Resolução nº 236/2017, de 30 de janeiro de 2017. Seção 1 do D.O.U de 7 de fevereiro de 2017.
- CRUZ, P. T. **100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto.** São Paulo: Oficina de textos, 1996.
- DUARTE, A. P. **Classificação das Barragens de Contenção de Rejeitos de Mineração e de Resíduos Industriais no Estado de Minas Gerais em Relação ao Potencial de Risco.**
- Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais.** Belo Horizonte - MG, 2018.
- JANSEN, R. B., Dams and Public Safety, A Water Resources Technical Paper. U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, EUA, 1983.
- MARTINI, B. D. Sistema web para gestão de segurança de barragens. Programa de Pós-graduação em Geotecnia da UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, 2018.
- MATOS, J. N. A. **Um Projecto para a Segurança das Barragens Portuguesas.** 4 o Congresso da Água. Lisboa, 23-27 de março de 1998.
- NEVES, L. P. Legislação federal brasileira em segurança de barragens. Palácio do Planalto. Lei nº 12.334/2010. Seção 1 do D.O.U de 21 de setembro de 2010. Comentada, Brasília, 2018.
- POSSAN, E. Curso Segurança de Barragens. Unidade 10. 62p. Disponível em: [https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/4/Unidade\\_10modulo1.pdf](https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/4/Unidade_10modulo1.pdf) Acesso em: 3 de setembro de 2019.
- ZUFFO; Monica Soares Resio, **Análise de risco em barragens: um índice de priorização.** 2010. 286f. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.