

Comparação de Métodos de Estimativa de Aceleração Sísmica para uso em Barragens

Ingrid Belcavello Rigatto

Coordenadora de Geotecnia, HIDROBR, Belo Horizonte, Brasil, ingrid.rigatto@hidrobr.com

Daniel Marangon Mendes do Nascimento

Auxiliar de Engenharia, HIDROBR, Belo Horizonte, Brasil, daniel.nascimento@hidrobr.com

Marko Rupert

Especialista em Geotecnia, HIDROBR, Belo Horizonte, Brasil, marko.rupert@hidrobr.com

Ana Carolina Jerônimo de Oliveira

Coordenadora de Geotecnia, HIDROBR, Belo Horizonte, Brasil, ana.oliveira@hidrobr.com

RESUMO: A estimativa da aceleração sísmica é essencial para a obtenção de modelos que representem adequadamente a realidade e cumpram as regulamentações vigentes de avaliação da segurança de barragens e pilhas. Neste trabalho, comparou-se a estimativa da Aceleração de Pico de Terreno usando o método de Cruz *et al.* (2022) em relação aos valores dos mapas de Assumpção *et al.* (2016) e da Eletrobrás (2003), amplamente utilizados no Brasil. Utilizando as recomendações do Eurocode 8 e da *Canadian Dam Association*, aplicou-se a decomposição em vetores verticais e horizontais em uma barragem hipotética, localizada no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, com tempo de retorno de 10.000 anos. Uma análise de equilíbrio limite pseudo-estático no software Slide2 foi utilizada para comparar os fatores de segurança obtidos por essas diferentes metodologias. Os resultados destacaram como a estimativa da aceleração sísmica afeta a avaliação da segurança da barragem. A escolha crítica da metodologia é fundamental, principalmente na ausência de estudos locais específicos para as regiões de interesse. O método da Eletrobrás (2003) não apresenta diferenças de acordo com o período de retorno da estrutura, o que traz muita simplificação ao estudo. Já o método de Cruz *et al.* (2022) é mais recente e complementa o método de Assumpção *et al.* (2016) através de dados medidos em campo.

PALAVRAS-CHAVE: Aceleração sísmica, Pseudo-estática, Sismo, Estabilidade, Barragens.

ABSTRACT: Estimating seismic acceleration is essential to obtain models that adequately represent reality and comply with current regulations for assessing the safety of dams and piles. In this work, the estimate of Peak Terrain Acceleration was compared using the method of Cruz *et al.* (2022) in relation to the values in the maps by Assumpção *et al.* (2016) and Eletrobrás (2003), widely used in Brazil. Using the recommendations of Eurocode 8 and the *Canadian Dam Association*, the decomposition into vertical and horizontal vectors was applied to a hypothetical dam, located in the Iron Quadrangle, Minas Gerais, with a return time of 10,000 years. A pseudo-static limit equilibrium analysis in Slide2 software was used to compare the safety factors obtained by these different methodologies. The results highlighted how the estimation of seismic acceleration affects the assessment of dam safety. The critical choice of methodology is fundamental, especially in the absence of specific local studies for the regions of interest. The Eletrobrás (2003) method does not present differences according to the return period of the structure, which greatly simplifies the study. The method by Cruz *et al.* (2022) is more recent and complements the method of Assumpção *et al.* (2016) through data measured in the field.

KEYWORDS: Seismic acceleration, Pseudo-static, Earthquake, Stability, Dams.

1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, as barragens são utilizadas para diversos fins e atuam nas economias dos países, seja por meio de geração de energia, abastecimento humano, plantações ou uso em empresas de mineração (Hasan *et al.*, 2023). Considerando sua vasta existência e formatos, é fundamental que seus projetos e avaliações de estabilidade contemplem e resistam às mais variadas cargas que possam ocorrer, de forma a garantir a segurança dessas estruturas.

A consequência de uma eventual ruptura de barragem costuma ser catastrófica, levando ao lançamento descontrolado de milhões de metros cúbicos de material, causando graves perdas em termos de bens e vidas humanas. Masini e Rampello (2020), destacam que muitas rupturas ao redor do mundo estão relacionadas à atividade sísmica. Portanto, é fundamental que grandes barragens tenham avaliações de segurança sísmica realizadas periodicamente durante sua longa vida útil, envolvendo novas informações e conceitos de projeto e segurança sísmica (Wieland, 2022).

Apesar da baixa ocorrência de eventos sísmicos no Brasil, a sismicidade no território nacional não é nula. Dessa forma, a norma ABNT NBR 13028:2017 exige que em projetos de barragens seja avaliado o potencial de sismicidade na área de implantação da barragem, com base em registros, bibliografias e normas existentes. Além disso, nas etapas iniciais dos estudos, a norma também sugere a utilização dos critérios da *Canadian Dam Association* (CDA, 2007), com a utilização do Máximo Terremoto Credível (MCE) em análises pseudo-estáticas. Além disso, sismos em regiões intraplaca, como a região em que está o Brasil, podem atingir magnitudes altas e serem catastróficos, segundo Cruz *et al.* (2022).

Pelecanos *et al.* (2015) compilam um histórico da abordagem da resposta sísmica na modelagem e citam os principais autores do assunto. Segundo os autores, as análises possuem diversos níveis de abordagem e vão desde análises pseudo-estáticas (determinando a tensão sísmica mínima geradora de instabilidade no talude da barragem) até análises tridimensionais com elementos finitos (abordando modelos constitutivos, comportamento elasto-plástico do solo, pressões hidrodinâmicas, análise de consolidação acoplada e cálculo de coeficiente sísmico). Apesar de ser um instrumento formidável para análise sísmica de barragens, a confiabilidade do método de elementos finitos é, uma fonte de preocupação, porque poucos estudos numéricos incluem comparações de medições de campo.

Buscando uma melhor compreensão dos mecanismos de falha associados aos terremotos, Le *et al.* (2022), após revisão do estado da arte sobre o tema, destacam que para reduzir as incertezas e garantir a segurança das barragens, as metodologias de cálculo da deformação sísmica das barragens de terra ainda precisam ser ampliadas e aprimoradas.

A análise pseudo-estática, que será abordada nesse documento, consiste na simulação de um efeito sísmico em coeficientes de aceleração horizontais (K_h) e verticais (K_v), constantes e com iguais intensidades em toda a altura da barragem. Assim, esses coeficientes provocam forças de inércia resultantes do produto de K_h e K_v pela massa de solo. Esse método de análise é pessimista em relação aos fatores de segurança, uma vez que despreza o comportamento dinâmico do sismo numa estrutura e seus efeitos de atenuação ao longo do tempo. Sendo assim, considera-se acréscimo de carga constante e em tempo infinito e constitui um cenário desafiador ao equilíbrio dos taludes. Mesmo sendo uma abordagem mais simples por não considerar deformações ou perda de resistência do solo após tensões dinâmicas, a análise pseudo-estática ainda é muito utilizada, principalmente em projetos iniciais ou com menos dados disponíveis, por isso esta abordagem será o foco deste estudo.

Porém, ainda faltam metodologias de estimativa definidas especificamente para o Brasil, bem como necessita-se de uma abordagem mais sistemática para estimar a sismicidade para tempos de retorno elevados. Estimar a Aceleração de Pico de Terreno (*Peak Ground Acceleration* – PGA) no Brasil é uma tarefa difícil, uma vez que o monitoramento sísmico em território brasileiro é muito menor quando comparado a países com maior incidência desses eventos.

Nesse contexto, alguns autores (como Assumpção *et al.*, 2016, e Cruz *et al.*, 2022) propuseram metodologias para estimar a PGA no Brasil, reunindo informações sismológicas do país e comparando-as com métodos adotados internacionalmente. A escolha do método apropriado depende do tipo de barragem, localização geográfica e características sísmicas do local.

Este estudo buscou compreender melhor os métodos disponíveis para estimativa de cargas sísmicas em barragens de terra utilizadas na mineração. Para tanto, foram avaliados alguns métodos que estimam o PGA

com complexidade e aplicabilidade variadas. Será avaliada uma hipotética barragem de rejeitos, na região do Quadrilátero Ferrífero do Estado de Minas Gerais, caracterizada pela extração de minerais. Os itens a seguir detalham a metodologia e os dados utilizados, os resultados obtidos e sua discussão.

2. METODOLOGIA

Dois termos são muito importantes quando trata-se de análises sísmicas: PGA e MCE. O PGA, já citado, é um parâmetro relacionado à Magnitude (M) e à distância epicentral do terremoto. Esta quantidade avalia o movimento máximo do solo em função de um terremoto. Já o Terremoto Máximo Credível (*Maximum Credible Earthquake* – MCE) é a magnitude máxima de um terremoto capaz de ocorrer em um determinado ambiente tectônico, em função dos dados geológicos e sismológicos disponíveis. O PGA é medido em função da aceleração da gravidade (g) com valor nominal de $9,80665 \text{ m/s}^2$. Por exemplo, se valor de PGA encontrado for de 0,10 g, significa que ele corresponde a 10% da aceleração da gravidade, ou seja, $0,98 \text{ m/s}^2$. Além disso, o vetor de aceleração da gravidade aplicado aos programas de modelagem deve ser dividido em um par ordenado, ou seja, uma aceleração horizontal e uma aceleração vertical.

Segundo a CDA (2007) avalia-se o dano potencial associado (DPA) a estrutura para definição do tempo de retorno necessário para a estimativa do PGA. Nesse sentido, barragens classificadas como “Extremas” deverão apresentar um PGA associado ao tempo de retorno de 10.000 anos ou MCE, conforme explicitado na Tabela 1.

Tabela 1. Níveis de risco de abalos sísmicos e seus respectivos tempos de retorno.

Classificação (nota 1)	Probabilidade de excedência anual - Cheias (nota 2)	Probabilidade de Excedência anual - Sismos (nota 3)
Baixa	1/100	1/100
Significativa	Entre 1/100 e 1/1.000 (nota 4)	Entre 1/100 e 1/1.000
Alta	1/3 entre 1/1.000 e PMF* (nota 5)	1/2.475 (nota 6)
Muito Alta	2/3 entre 1/1.000 e PMF* (nota 5)	1/2 entre 1/2.475 e 1/10.000 ou MCE* (nota 5)
Extrema	PMF* (nota 5)	1/10.000 ou MCE* (Nota 5)

*PMF – máxima cheia provável; MCE – maior sismo credível; AEP – probabilidade de excedência anual.

1 - Como definido na tabela de Classificação de Barragem;

2 - Simples extrapolação das estatísticas de cheias além de 10-3 AEP não é aceitável;

3 - Valores médios do intervalo estimado nos níveis de AEP para terremotos devem ser usados;

4 - Selecionado com base na análise incremental de cheias, exposição, e consequência de falha;

5 - PMF e MCE não tem AEP associados;

6 - Esse nível foi escolhido para garantir compatibilidade com o estabelecido nas normas de construção canadenses.

Fonte: *Canadian Dam Association* (2007)

2.1 Métodos de estimativa de PGA utilizados

Para estimativa do PGA associado a um tempo de retorno de 10.000 anos, conforme especificado na Tabela 1, foram utilizados 3 métodos, sendo eles:

- Eletrobrás (2003);
- Assumpção *et al.* (2016); e
- Cruz *et al.* (2022).

2.1.1 Eletrobrás (2003)

O Manual da Eletrobrás (2003) define um par ordenado de aceleração de pico fixa, ou seja, uma aceleração horizontal (K_h) e uma aceleração vertical (K_v), com valores de 0,05g e 0,03g, respectivamente.

Ressalta-se que o valor de K_v corresponde a $2/3$ de K_h segundo Shannon e Wilson (1979), relação que será adotada para definir a aceleração vertical para as demais metodologias.

Como este manual já indica as acelerações horizontais e verticais, pode-se estimar o valor PGA associado a estas acelerações por retroanálise. Sabe-se, pelo método de Hynes-Griffin e Franklin (1984), que o coeficiente K_h consiste na metade do PGA. Assim, estima-se que o PGA utilizado na lista da Eletrobrás (2003) seja de $0,10g$.

2.1.2 Assumpção *et al.* (2016)

Assumpção *et al.* (2016) consideraram a probabilidade de ocorrência de movimentos de solo, que é estimada em função de 2 fatores:

- frequência anual de sismos de cada magnitude (relação magnitude-frequência de Gutenberg Richter, 1944);
- relações empíricas que preveem acelerações esperadas em função da magnitude e da distância central.

Com essas considerações, os autores elaboraram mapas brasileiros independentes com delimitações de zonas sísmicas. As zonas sísmicas consistem em áreas categorizadas por faixas de valores PGA. Além destes mapas com zonas sísmicas, Assumpção *et al.* (2016) realizaram uma análise específica dos epicentros dos sismos catalogados, onde podem ser estimadas zonas com maior frequência de movimento do solo. A frequência, por sua vez, foi calculada dividindo-se o número de pontos (ou terremotos) pela área estudada.

Após uma média ponderada dos mapas de zonas sísmicas e análises pontuais de frequência de terremotos, foram apresentados 2 mapas com estimativa de PGA em rocha no território brasileiro. Os autores propõem um mapa de estimativa do PGA com probabilidade de retorno de 2% em 50 anos, o que corresponde a um tempo de retorno de 2.475 anos.

2.1.3 Cruz *et al.* (2022)

Uma adaptação do método de Assumpção *et al.* (2016) foi realizado por Cruz *et al.* (2022). Este método considera os mapas de Assumpção *et al.* (2016) de 475 e 2.475 anos e compara os valores de PGA obtidos nos mapas (PGA_{map}) com uma base de dados de monitoramento de terremotos conhecida pelo autor. Após comparação, Cruz *et al.* (2022) propõem uma equação de correção ($PGA_{estimada}$) para os valores obtidos no mapa de Assumpção *et al.* (2016), conforme Equação [1].

$$PGA_{estimada} = 0,011 \cdot e^{11,698 \cdot PGA_{map}} + 0,02 \quad (1)$$

Ambas as metodologias referem-se a estimativa do PGA através de mapas de zonas sísmicas que não consideram um tempo de retorno de 10.000 anos.

Para extrapolar as acelerações de pico encontradas nos mapas ou correções, utiliza-se a correlação presente no Eurocode 8 para o tempo de retorno requerido. A equação para extrapolação dos valores de aceleração de pico presentes no Eurocode 8 é indicada na Equação [2] juntamente com os dados deste estudo.

$$Y = \frac{a_{gc}}{a_{gr}} = \left(\frac{T_{rc}}{T_{ncr}} \right)^k = \left(\frac{10000}{475} \right)^{0,40} \quad (2)$$

Onde:

Y = Fator de importância;

a_{gc} = Aceleração de projetos;

a_{gr} = Aceleração de referência;

T_{rc} = Tempo de retorno do projeto;

T_{ncr} = Tempo de retorno de referência;

k = Coeficiente de ponderação (varia de 0,3 a 0,4, adota-se, nesse estudo, 0,4)

3. APLICAÇÃO E ESTUDO DE CASO

A barragem hipotética adotada neste estudo será classificada na condição “Extrema” e terá um Tempo de Retorno (TR) de 10.000 anos para probabilidade de excedência do sismo. Para simplificar neste estudo, será adotada uma barragem com apenas um material constituindo a fundação e a fundação feita de material muito resistente, de forma que sejam consideradas apenas superfícies de ruptura no barramento da estrutura.

Dessa maneira, parte-se para estimativas dos valores de PGA para um tempo de 10.000 anos associados a cada método de estimativa supracitados no Item 2. Uma vez calculados os valores de PGA decompõem-se esse resultado em K_h e K_v , de acordo com Hynes-Griffin & Franklin (1984) e Shannon e Wilson (1979), os quais consideram que K_h é 0,5 do PGA estimado e K_v igual a 2/3 de K_h , respectivamente.

Os valores de PGA encontrados utilizando as 3 metodologias abordadas nesse estudo para o Tempo de Retorno de 10.000 anos e os coeficientes horizontais e verticais associados a cada um deles, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa de PGA para TR de 10.000 anos e os respectivos coeficientes verticais e horizontais.

Metodologia	PGA (TR 10.000 anos)	K_h	K_v
Eletrobrás (2003)	0,10 g	0,05 g	0,03 g
Assumpção <i>et al.</i> (2016)	0,21 g	0,11 g	0,07 g
Cruz <i>et al.</i> (2022)	0,15 g	0,08 g	0,05 g

Estes valores encontrados serão inseridos em análises de estabilidade na condição pseudo-estática da barragem a fim de encontrar os diferentes fatores de segurança (FS) relacionados.

As análises de estabilidade foram avaliadas pelo método de equilíbrio limite, utilizando Slide2®, software desenvolvido pela Rocscience, segundo metodologia rigorosa de estabilidade de taludes proposta por Morgenstern-Price (GLE - *General Limit Equilibrium*).

A seção geológica-geotécnica representativa da barragem, que será submetida a análises pseudo-estáticas, é apresentada na Figura 1.

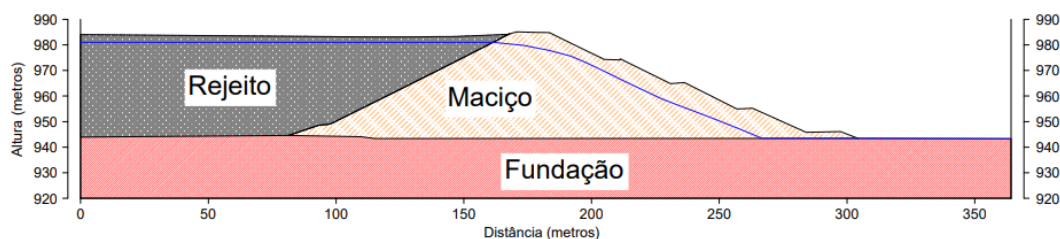





Figura 1. Seção da barragem analisada.

Os parâmetros de resistência considerados para cada material presente na estratigrafia da seção 2D (Figura 1) estão apresentados na Tabela 3. Esses valores típicos adotados foram estimados com base em bibliografia (Cruz, 1996).

Tabela 3. Parâmetros adotados dos materiais.

Material	Cor	Método de análise	γ_{nat} (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)
Maciço		Mohr-Coulomb	18	5	29
Rejeito		Mohr-Coulomb	20	2	30
Fundação		Infinite Strength	20	-	-

Os resultados e discussões acerca das análises de estabilidade executadas são expostos no item a seguir.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de estabilidade foram executadas conforme metodologia apresentada no item anterior. Foram executadas três diferentes análises, uma para cada metodologia de estimativa de PGA para um TR de

10.000 anos. Os resultados das análises assim como as superfícies de ruptura de talude encontradas são apresentados da Figura 2 à Figura 4.

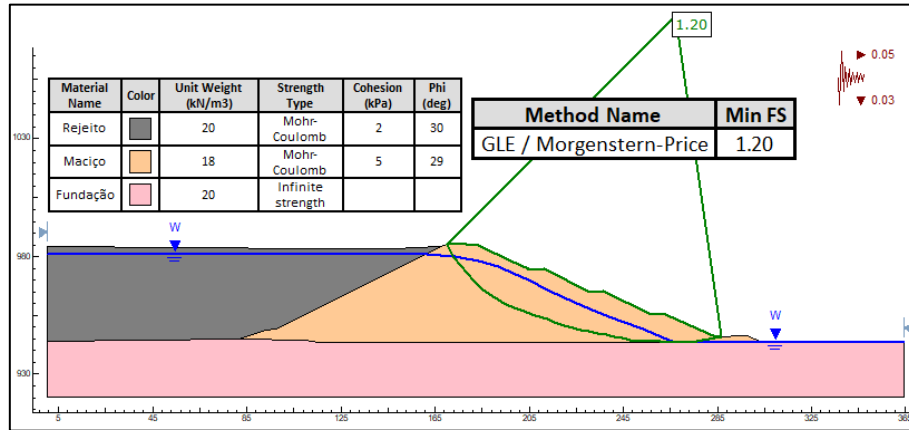


Figura 2. Análise pseudo-estática com coeficientes de aceleração da Eletrobrás (2003).

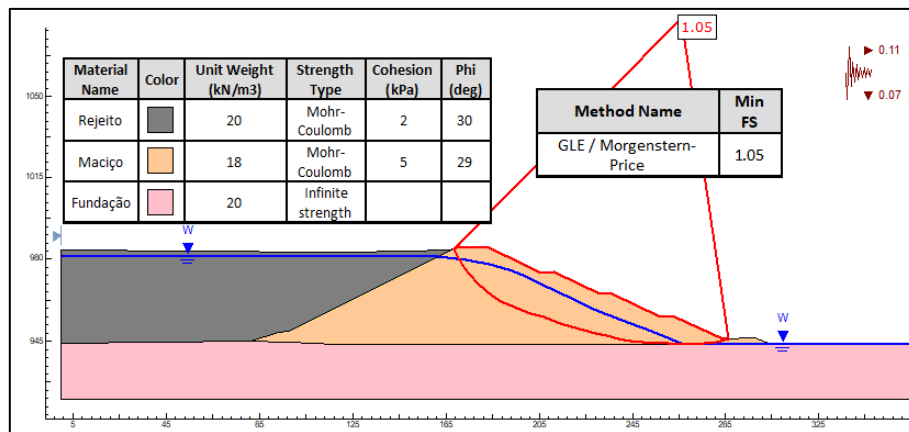


Figura 3. Análise pseudo-estática com coeficientes de aceleração de Assumpção *et al.* (2016).

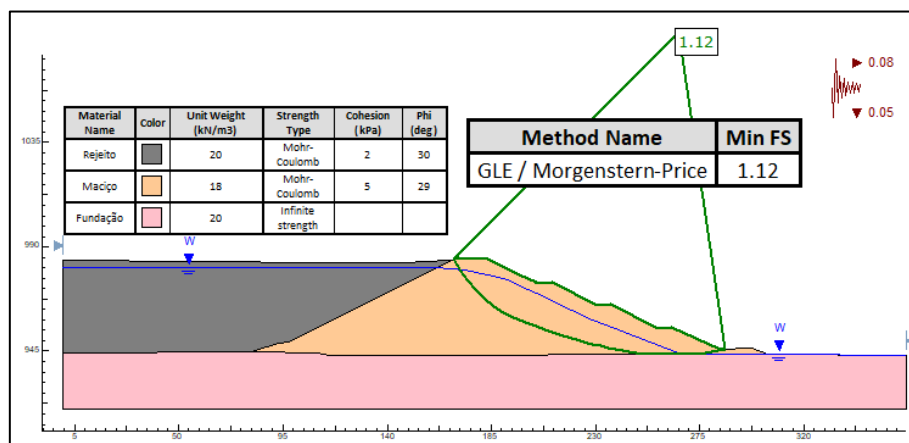


Figura 4. Análise pseudo-estática com coeficientes de aceleração de Cruz *et al.* (2022).

Os fatores de segurança correspondentes para as três estimativas de aceleração sísmica obtidos nas análises de estabilidade são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Fatores de segurança obtidos das análises de estabilidade de acordo com a metodologia adotada.

Metodologia	K_h	K_v	Fator de Segurança
Eletrobrás (2003)	0,05 g	0,03 g	1,20
Assumpção <i>et al.</i> (2016)	0,11 g	0,07 g	1,05
Cruz <i>et al.</i> (2022)	0,08 g	0,05 g	1,12

Nota-se que a análise utilizando a metodologia de Assumpção *et al.* (2016) apresenta FS menor que 1,10, ou seja, abaixo do fator de segurança limite especificado pela norma brasileira ABNT NBR 13028:2017, a qual orienta a análise de estabilidade para estruturas em cenário pseudo-estático. Assim, para uma mesma situação analisada, a metodologia de Assumpção *et al.* (2016) indica que a estrutura não se encontra segura, enquanto ao utilizar os métodos de Cruz *et al.* (2022) e Eletrobrás (2003) encontram-se fatores de segurança acima do limite mínimo estabelecido na normativa. Entretanto, o risco sísmico real é o mesmo para a estrutura, porém com abordagens que levam a valores diferentes para sismos de diferentes tempos de retorno.

Nesse exemplo, tomando como base a Eletrobrás (2003), observa-se que uma variação de 0,06g (mais que o dobro) no PGA pode implicar em redução significativa do fator de segurança para o método de Assumpção *et al.* (2016), ou seja, redução de, aproximadamente, 14%. Entretanto, o método da Eletrobrás (2003) não apresenta diferenças de acordo com o período de retorno da estrutura, o que traz muita simplificação ao estudo e pode não ser representativo. Em contraste, o método de Cruz *et al.* (2022) apresenta-se como mais atual, uma vez que parte do método de Assumpção *et al.* (2016) e o complementa a partir da comparação com dados sísmicos obtidos em campo.

Nota-se que a metodologia de Cruz *et al.* (2022) utiliza os mapas sísmicos da metodologia de Assumpção *et al.* (2016). Dessa maneira, para refino dessas metodologias probabilísticas devem ser elaborados mapas sísmicos mais precisos, ou seja, considerando falhas geológicas próximas, maior monitoramento dos eventos sismológicos e análise dos materiais de fundação, uma vez que o meio de dispersão influencia nos valores de K_h e K_v calculados.

5. CONCLUSÃO

A correta estimativa da aceleração sísmica é fundamental na elaboração ou revisão de projetos de barragens, e a escolha da metodologia adequada deve levar em consideração as especificidades de cada projeto, garantindo a segurança e o cumprimento das normativas atualizadas e recomendações mais recentes

As diferentes metodologias analisadas para estimar o PGA neste estudo impactaram nos valores de aceleração utilizados e, conseqüentemente, nos fatores de segurança calculados. As diferenças em relação ao fator de segurança calculado nas análises de estabilidade para um período de excedência de 10.000 anos estão na ordem da primeira e segunda casa decimal e são significativas nas análises. Em relação aos métodos avaliados, o da Eletrobrás (2003) apresentou os menores valores de aceleração, seguido pelo método de Cruz *et al.* (2022) e Assumpção *et al.* (2016).

A metodologia de Assumpção *et al.* (2016) quando comparada à Eletrobrás (2003), apresentou valores acima de 100% do PGA, o que impactou em uma diminuição de 14% no FS estimado e apresentou uma análise de estabilidade abaixo do fator mínimo exigido pela ABNT NBR 13028:2017. Já a metodologia de Cruz *et al.* (2022) quando comparada à da Eletrobrás (2003) apresenta diferença de 50% acima nos valores de PGA e aproximadamente 7% abaixo nos valores de fator de segurança, resultando em fatores de segurança acima do mínimo exigido pela norma, mesmo que próximo nesse limite.

Os fatores de segurança calculados demonstram a importância de um melhor entendimento e direcionamento de como abordar os valores de sismo para um TR de 10.000 anos, atendendo ao especificado na ABNT NBR 13028:2017, com $FS_{\min} \geq 1,10$. Com o impacto demonstrado neste trabalho, ressalta-se a necessidade uma metodologia probabilística mais consolidada a ser amplamente difundida no Brasil (seja por norma ou guia de boas práticas), para a estimativa dos coeficientes de aceleração horizontal e vertical adotados nas análises pseudo-estáticas em barragens de terra e empilhamentos.

Embora o Brasil seja notoriamente reconhecido como um país sem incidência de grandes eventos sísmicos, destaca-se a necessidade de maior monitoramento sismológico visando maior campo amostral de

dados para a estimativa de PGA no futuro, seja por mapas de zonas sísmicas específicas ou por outra método de cálculo. Esse ajuste nas metodologias probabilísticas com um maior campo amostral contribuirá para uma maior fidelidade da modelagem e, conseqüentemente, estimativa de fatores de segurança referentes a análises pseudo-estáticas mais representativos. Dadas as dimensões continentais do Brasil, sugere-se a consolidação de mapas sísmicos regionais, segmentando o território brasileiro em mapas com valores de PGA mais detalhados para a localidade estudada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à HIDROBR pelo apoio e incentivo na realização deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 13028. *Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água*. Rio de Janeiro.
- Assumpção, M. S., Dias, F. L., Zevallos, I., Naliboff, J. B. (2016). *Intraplate stress field in South America from earthquake focal mechanisms*. *Journal of South American Earth Sciences*, 71, 278-295. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.07.005>
- Canadian Dam Association – CDA (2007). *Technical Bulletins: Guidelines for public safety around dams*. English edition. Canadá.
- Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobrás (2003). *Crítérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas*. Rio de Janeiro.
- Cruz, F. V. A. S., Faria, L. G., Matarazo, F. Y., Reis, C. J., Souza Filho, M. J. (2022). *Estimativa de Pico de Aceleração Sísmica para Barragens Brasileiras, com extrapolação conforme Eurocode 8*. VIII COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Ipojuca – PE, 2022.
- Cruz, P. T. (1996). *100 Barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção e projeto*. São Paulo: Oficina de Textos. 647p.
- Hasan, S., Sönmezoğlu, Y., Arslan, M. E. (2023). *The Seismic Behavior of Buildings with Flat Slab Systems under Near-Fault Ground Motions*. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(4), 1972-1995. <https://doi.org/10.29130/dubited.1214030>
- Hynes-Griffin, M. E., Franklin, A. G. (1984). *Rationalizing the Seismic Coefficient Method*. Miscellaneous Paper GL-84-13, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, 1984, 21 p.
- Le, P. H., Nishimura, S., Nishiyama, T., Fang, C., Nguyen, T. C. (2022). *Seismic Deformation of Earth Dams: A State-of-the-art Review*. *Reviews in Agricultural Science*, 10: 138–154. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_138
- Masini L., Rampello S. (2020). *Influence of input assumptions on elevation of seismic performance of an earth dam*. *Journal of Earthquake Engineering*: 1-25. <https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1835747>
- Pelecanos, L., Kontoe, S., Zdravković, L. (2015). *A case study on the seismic performance of earth dams*. *Géotechnique*, 65(11), 923–935. <https://doi.org/10.1680/jgeot.sip.15.p.009>
- Shannon e Wilson, Inc. and Agbabian Associate (1979). *Statistical Analysis of Earthquake Grund Motion Parameters*, U.S, Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C and National Technical Information Service, Springfield, Virginia.
- Wieland, M. (2022). *Book review: Seismic Analysis of Structures and Equipment*. *Earthquake Spectra*, 38(1):725-725. <https://doi.org/10.1177/87552930211035148>