

UMA MODIFICAÇÃO AO MÉTODO PSEUDO-ESTÁTICO ATRAVÉS DE UMA APROXIMAÇÃO ANALÍTICA PROPOSTA À PRESSÃO HIDRODINÂMICA

*Selênio Feio da Silva**
*Evaristo dos Santos Junior***
*Alexandre Andrade Brandão Soares****
*Felipe Rodrigues Ribeiro*****

RESUMO

As avaliações sísmicas de segurança de barragens são conduzidas em fases progressivas; cada fase sucessiva pode requerer um nível diferente de análise. O nível apropriado da análise deve ser baseado na classificação da consequência de uma falha na barragem, na severidade do movimento de terra, e na configuração da barragem. Este artigo apresenta uma modificação proposta ao Método do Coeficiente Sísmico, através de uma aproximação analítica proposta para o cálculo da pressão hidrodinâmica, para uma avaliação sísmica preliminar de segurança em barragens de concreto gravidade. O método consiste na determinação de forças de inércia na barragem e do efeito das pressões hidrodinâmicas do reservatório. Os resultados obtidos são utilizados na análise da estabilidade sísmica de uma seção típica de barragem.

Palavras-Chave: Interação Barragem-Reservatório. Análise de Tensões em Barragens. Método Pseudo-Estático. Pressão Hidrodinâmica. Coeficientes de Estabilidade Sísmica.

A MODIFICATION OF PSEUDO-STATIC METHOD THROUGH AN ANALYTICAL APPROACH FOR THE HYDRODYNAMIC PRESSURE

ABSTRACT

Seismic safety assessments are normally conducted in progressive phases; each successive phase may require a different level of analysis. The appropriate level of analysis should be based on the consequence classification of the dam, the severity of ground motion,

* Graduado em Engenharia Civil - UFPA; Mestrado em Estruturas - UnB; Doutorado em Estruturas e Construção Civil - UnB; Professor Titular - UNAMA; Pesquisador de Projeto de Pesquisa (FIDES/UNAMA).

** Graduado em Engenharia Civil - UNAMA; Mestrado em Estruturas e Construção Civil - UnB; Professor nos Cursos de Graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Engenharia de Produção, Engenharia Sanitária e Ambiental - UNAMA; Pesquisador de Projeto de Pesquisa (FIDES/UNAMA).

*** Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Civil - UNAMA; Bolsista do Projeto de Pesquisa (FIDES/UNAMA).

**** Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Civil - UNAMA; Bolsista do Projeto de Pesquisa (FIDES/UNAMA).

and the dam configuration. This paper presents a modified approach to the Seismic Coefficient Method, a through an analytical approach proposed for calculating the hydrodynamic pressure including water compressibility, for a simplified seismic safety evaluation in concrete dams. Its consist of determination of inertia forces on the dam and the effect of hydrodynamic pressures from the reservoir. The results are used in the analysis of the seismic stability of a typical section of the dam.

Keywords: Dam-Reservoir Interaction. Analysis of Stresses in Dams. Pseudo-Static Method. Hydrodynamic Pressure. Coefficient of Seismic Stability.

1 INTRODUÇÃO

O Método Pseudo-Estático ou Método do Coeficiente Sísmico corresponde a uma das formas de análise sísmica de barragens. Neste nível de análise as forças de inércia induzidas pelo sismo são calculadas como o produto entre a massa e a aceleração da estrutura (suposta uniforme ao longo da altura da barragem). A amplificação dinâmica das forças de inércia ao longo da altura da barragem, devido à flexibilidade da estrutura, não é considerada. O sistema Barragem–Reservatório–Fundação (BRF) é considerado rígido, com um período de vibração igual a zero [1]. Estas considerações permitem determinar o campo de pressões hidrodinâmicas que surgem devido ao movimento de corpo rígido da barragem. Westergaard [2] demonstrou analiticamente, através da solução da equação de Laplace, a distribuição de pressões ao longo da interface fluido-estrutura, para um movimento translacional de uma fronteira rígida em um fluido incompressível (Figura 1). Seus resultados levaram a uma distribuição parabólica de pressões, proporcional à aceleração do sismo, e atuante na interface fluido-estrutura ao longo da altura da barragem. Este procedimento ficou conhecido como Massa Adicional e caracteriza uma forma simples de abordagem do problema de interação entre a barragem e o reservatório (IBR). As forças que surgem devido ao sismo (forças hidrodinâmicas e de inércia) podem então ser combinadas para uma análise estática equivalente de tensões e estabilidade sísmica.

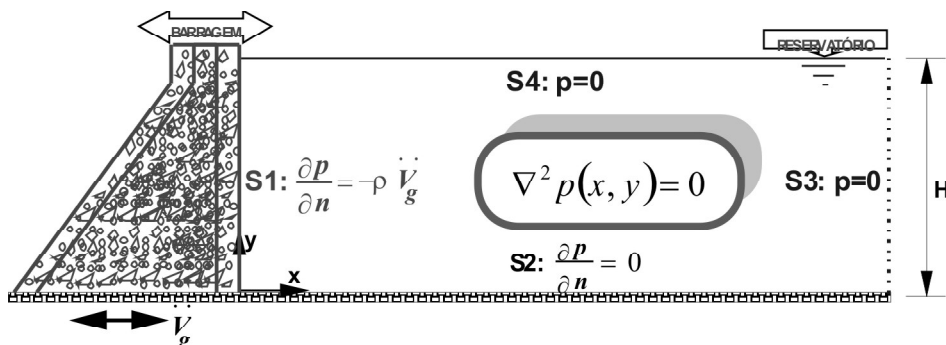


Figura 1: Barragem Rígida em um Fluido Incompressível.

As principais limitações deste método surgem da não consideração: da elasticidade da estrutura, da variação da aceleração da fundação com o tempo, da capacidade de amortecimento da estrutura e da alternância e características de curta duração da carga sísmica [3]. Adicionalmente este método não leva em consideração os efeitos de compressibilidade do fluido. Por desconsiderar a elasticidade da estrutura, uma análise Pseudo-Estática torna-se adequada caso a barragem possa ser tratada como um corpo rígido. Ghrib et al. [4] considera que para períodos fundamentais inferiores a 0.03s (33 Hz) tornam esta hipótese verdadeira. A desconsideração da variação da aceleração da fundação com o tempo limita o método a análises através de coeficientes sísmicos, que definem a aceleração local a ser utilizada em projeto. Este procedimento torna as análises independentes das características particulares de cada sismo. A alternância e característica de curta duração da carga sísmica são consideradas apenas em níveis de análise dinâmica, que possam representar variações da resposta ao longo do tempo. A desconsideração da capacidade de amortecimento da estrutura impede uma representação mais realista do sistema físico envolvido. Entretanto, segundo Priscu [3], apesar de todas estas desvantagens o método ainda continua sendo empregado devido ao seu caráter simplificado e rotineiro.

O Método Pseudo-Estático, em sua versão preliminar, desenvolvido para aplicações manuais (planilhas) envolvendo esforços, tensões e avaliação de estabilidade, é objeto de alguns trabalhos efetuados pelo Grupo de Dinâmica e Fluido-Estrutura da Universidade de Brasília [5], [6] e [7]) e no Projeto de Pesquisa Análise Estrutural em Barragens Gravidade de Concreto, realizado na Universidade da Amazônia.

Em aplicações práticas, inicialmente se faz uma análise com modelos lineares simplificados para avaliação de forças de inércia, interação Barragem-Reservatório-Fundação (BRF) e mecanismos resistentes da barragem, de modo a verificar as exigências de desempenho. Nesta fase procura-se avaliar o aumento relativo das tensões com a adição das cargas sísmicas e uma estimativa refinada da distribuição de tensões não é necessária. Nestas condições o primeiro método de análise geralmente utilizado é o pseudo-estático (coeficiente sísmico).

Este estudo faz uma adaptação, através da utilização de uma formulação aproximada proposta para o cálculo da pressão hidrodinâmica, ao Método do Coeficiente Sísmico. Com efeito, o presente estudo é baseado em estudos anteriores [8] e mais recentes [9] relativos ao desenvolvimento de metodologias de avaliação de risco sísmico de barragens a partir de análises progressivas de abordagem da questão.

Portanto, este trabalho tem por objetivo ilustrar de uma forma simples, através de um estudo de caso (perfil típico aproximado da Barragem de Tucuruí [10]), as alterações introduzidas na barragem (em termos de tensões) e a determinação dos coeficientes de estabilidade sísmica, quando um sismo se faz presente, mostrando as modificações introduzidas nas grandezas características do problema por este tipo de solicitação.

2 MÉTODO PSEUDO-ESTÁTICO (COEFICIENTE SÍSMICO)

Uma metodologia utilizada e bem apropriada ao caso é descrita no USBR *Design of Small Dams* [11], assim como em outras normas estrangeiras [12], [13], [14] e [15]. Neste método as forças inerciais e hidrodinâmicas induzidas por terremoto são representadas por cargas estáticas efetivas. A análise supõe para a barragem um movimento de corpo rígido e a água como incompressível.

Não são também levados em conta a interação BRF e o efeito de absorção pelo fundo do reservatório. As forças de inércia são calculadas usando a aceleração do solo numa direção apropriada e são aplicadas no centro de gravidade da barragem. As forças hidrodinâmicas são estimadas e distribuídas usando uma formulação proposta por Westergaard [16]. A estabilidade da barragem é verificada supondo que o pico dos movimentos horizontal e vertical do solo ocorre simultaneamente.

As forças do terremoto são combinadas com as forças devido ao silte a gravidade e as forças hidrostáticas do reservatório. Estas forças são aplicadas à barragem como uma carga estática equivalente; as tensões são calculadas pela teoria elementar de viga e a verificação dos critérios de estabilidade efetuados pelas expressões clássicas destas verificações [17].

Portanto, a análise pseudo-estática é conservativa no que diz respeito às seguintes suposições: i) a continuidade do carregamento sísmico, ii) a desconsideração do amortecimento e da energia absorvida pela barragem e fundação, iii) a aplicação simultânea das acelerações horizontais e verticais máximas e iv) a amplificação das vibrações na barragem (que pode ser importante mesmo numa pequena barragem).

Estas simplificações são fonte de erros uma vez que não levam em conta certos aspectos importantes do sistema completo a ser considerado. Estudos anteriores descritos por Chopra [18] e outros autores [19] demonstraram que o efeito da interação entre a BRF têm efeitos importantes na resposta da barragem durante terremotos; assim como os efeitos de compressibilidade da água [20], [21] podem ter um papel significativo no caso da interação barragem-reservatório, e não há nenhum mecanismo no método de análise pseudo-estático que permita esclarecer corretamente estes efeitos.

2.1 APROXIMAÇÃO ANALÍTICA PROPOSTA PARA O CÁLCULO DA PRESSÃO HIDRODINÂMICA NO MÉTODO PSEUDO-ESTÁTICO

O problema geral de mecânica dos fluidos que envolve a questão possui três variáveis a serem determinadas: a densidade (ρ), a pressão (p) e a velocidade (V). Para a solução do problema são necessárias três equações fundamentais: equação da continuidade, equação de quantidade de movimento e equação de estado. A solução destas equações gerais, no entanto, é difícil e algumas hipóteses simplificadoras devem ser utilizadas para se obter uma solução fechada para o problema, sendo elas: fluido não viscoso, homogêneo e incompressível; escoamento irrotacional; pequenos deslocamentos em torno da posição de equilíbrio (fluido acústico); pequenas inclinações das ondas de superfície; não há descontinuidade do meio (fontes e sumidouros); reservatório de paredes rígidas.

Aplicando-se estas hipóteses às equações gerais e eliminando-se a velocidade, chega-se à equação da onda dada em termos das pressões (p):

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \cdot \ddot{p} = 0 \quad (1)$$

Onde:

p é a pressão hidrodinâmica,

c é a velocidade do som no meio fluido,

∇ é o operador de derivada espacial.

No caso de incompressibilidade do fluido ($c \rightarrow \infty$), a Equação (1) se torna a equação de Laplace [24].

$$\nabla^2 p = 0 \quad (2)$$

Baseando-se na ideia proposta por Westergaard [2], de uma formulação aproximada para o cálculo da pressão hidrodinâmica, e através da experiência de outras pesquisas com traçados de gráficos de funções e ainda da observação do comportamento gráfico da pressão hidrodinâmica exata na face da barragem ao longo da altura, Silva [22] propôs uma função de aproximação para a pressão hidrodinâmica na face da barragem:

$$\tilde{p}_p(0, y) = \left[\frac{1 - \frac{y}{H}}{1.3 - \frac{y}{H}} \right] \cdot \rho H \ddot{V}_g \quad (3)$$

A Equação (3) corresponde à aproximação analítica proposta para o cálculo da pressão hidrodinâmica na face da barragem.

2.2 FORÇA DE INÉRCIA

A força de inércia, em uma seção qualquer, pode ser obtida por meio do produto entre a massa da seção considerada e a sua respectiva aceleração. A hipótese de movimento de corpo rígido da barragem faz com que a aceleração da estrutura tenha o mesmo valor ao longo de toda a sua altura, e com que o ponto de aplicação da força de inércia coincida com o centróide da seção. No caso de uma aceleração horizontal do terreno, a barragem será submetida a uma aceleração horizontal, uniformemente distribuída, de valor igual à \ddot{V}_g . Tem-se então:

$$F_{IH} = m_{seção} \cdot \ddot{V}_g \quad (4)$$

Onde: F_{IH} é a força de inércia e $m_{seção}$ é a massa da seção considerada.

3 RESULTADOS

O perfil de barragem estudado possui altura de 86.865 m e largura da base de 71.427 m , tendo, portanto, uma relação base altura de 82% , com uma crista de 20.851 m de largura. A barragem é de concreto gravidade. Essas dimensões aproximam-se do perfil típico da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.

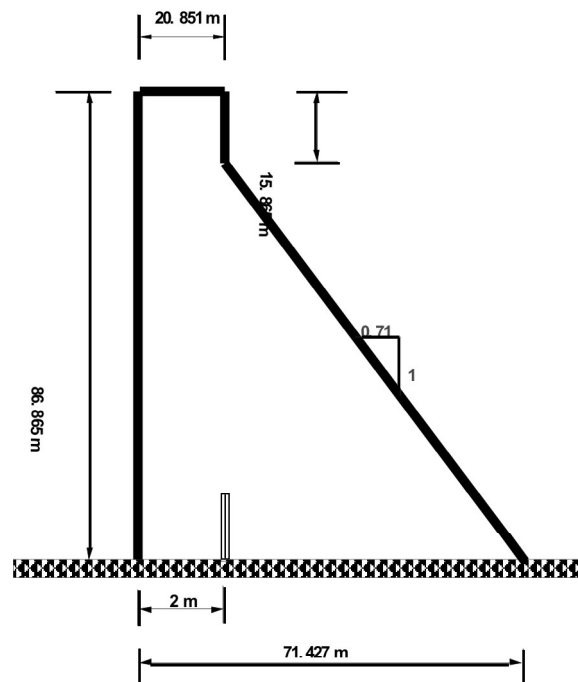


Figura 2: Perfil teórico da barragem em estudo.

Os parâmetros de resistência utilizados no cálculo do Coeficiente de Segurança ao Deslizamento estão apresentados na tabela 1. Estes valores foram extraídos da literatura [19] e [23].

Tabela 1: Propriedades de resistência dos materiais na base da barragem (interface com a fundação).

Valores de pico	Ângulo de Atrito (ϕ_D)	55°
	Adesão (c_a)	100 kPa
Valores residuais	Ângulo de Atrito (ϕ_{res})	40°
	Adesão (c_a)	50 kPa

Para a determinação dos carregamentos atuantes (peso próprio, força hidrostática e subpressão) é necessária a adoção de valores médios para densidades do concreto e da água, além da posição do dreno, assim como a lei de distribuição das pressões nas juntas de fissuração e interface barragem-fundação.

Tabela 2: Sumário dos principais parâmetros para o cálculo das forças estáticas.

Esforço	Parâmetro
Peso próprio	$\gamma_c = 23.544 \text{ kN/m}^3$
Força Hidrostática do Reservatório	$\gamma_a = 9.81 \text{ kN/m}^3$
Subpressão na base	$\gamma_a H$ de montante variando linearmente até jusante, onde seu valor é zero
Redução da Subpressão na base	Dreno localizado a 2.00 m do paramento de montante. Redução baseada no CDSA-ACSB (1995) com eficiência de 67% ($K_2 = 33\%$)

3.1 ANÁLISE ESTÁTICA

Utilizando os parâmetros descritos anteriormente, tabelas 1 e tabela 2, podem-se obter analiticamente os esforços atuantes na seção horizontal da base da barragem (interface barragem-fundação). Esses valores estão apresentados na tabela 3 e são resultados da utilização de um procedimento manual passo a passo [6].

Tabela 3: Esforços na seção da base.

Esforços	Valor
Peso próprio (W)	84 915 kN
Força hidrostática (H_S)	37 011 kN
Subpressão (U)	10 899 kN
Momento no centro da seção	221 109.96 kN.m

A partir desses dados e dos parâmetros de resistência, tabela 2, pode-se determinar alguns indicadores que caracterizam a estabilidade da estrutura, tais como as tensões estáticas e coeficientes de segurança ao deslizamento (CSD), tombamento (CST) e flutuação (CSF). Esses valores estão apresentados de acordo com a combinação de carregamentos, tabela 6 e tabela 7.

3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO PSEUDO-ESTÁTICO

A análise sísmica pseudo-estática consiste em se calcular duas forças que ocorrem na barragem: a força hidrodinâmica (massa adicional) do reservatório e a força de inércia da estrutura. A partir desse cálculo novos parâmetros de segurança são calculados devido à nova configuração de estabilidade da estrutura. Os dados do terremoto estudado nessa estrutura estão descritos na tabela 4.

Tabela 4: Dados do sismo estudado.

Esforços	Valor	
	Acelerações de pico	Horizontal
Vertical		0.100 g
Acelerações de Sustentação	Horizontal	0.075 g
	Vertical	0.050 g

As acelerações de pico são utilizadas na análise de tensões enquanto a acelerações de sustentação são usadas na análise de estabilidade global. A força hidrodinâmica no reservatório é calculada, no Método Pseudo-Estático, em função da aceleração horizontal do solo (A_H) e da altura da barragem (h), através de manipulações algébricas na Equação (3) e utilizando-se do princípio da Segunda Lei de Newton, determina-se:

$$H_d = 5.12 A_H h^2 \quad (5)$$

Utilizando a altura de 86.865 m e as acelerações descritas, tabela 4, tem-se os seguintes valores da força hidrodinâmica horizontal:

$$H_d^{pico} = 6\,033 \text{ kN}; H_d^{sustentação} = 3\,016 \text{ kN}.$$

A força de inércia horizontal da barragem (EQH), por metro de barragem, é calculada com sendo o peso do perfil vezes a aceleração horizontal do sismo, ou seja:

$$EQH = V y_c A_H \quad (6)$$

$$EQV = V y_c A_V \quad (7)$$

Onde "V" é o volume do perfil da barragem; g_c é o peso específico do concreto; e A_H é a aceleração horizontal do sismo e A_V é a aceleração vertical do sismo. Utilizando os valores apresentados na tabela 2 e na tabela 4, a força horizontal de inércia vale:

$$EQH^{pico} = 12\,737 \text{ kN}; EQH^{sustentação} = 6\,369 \text{ kN}$$

$$EQV^{pico} = 8\,492 \text{ kN}; EQV^{sustentação} = 4\,246 \text{ kN}$$

As forças H_d , EQH e EQV possuem natureza oscilatória, o método Pseudo-Estático não considera este efeito. Na prática o que é feito é uma combinação das forças usuais (peso próprio, força hidrostática e subpressão) com as forças provocadas pelo sismo (H_d , EQH e EQV). Os coeficientes de combinação entre as forças sísmicas horizontais (H_d e EQH) e as forças sísmicas verticais (EQV) são "1.0 e 0.3", respectivamente, [19].

No presente trabalho é feita a combinação de carregamentos para mostrar os efeitos das forças sísmicas sobre a estrutura. As combinações utilizadas e os coeficientes utilizados estão detalhados na tabela 5, onde as setas indicam o sentido de aplicação das forças sísmicas na barragem da figura 1.

Tabela 5: Combinações de carregamentos

	Forças Usuais da Estática (W+Hs+U)	Forças Sísmicas Horizontais (EQH+H _d)	Forças Sísmicas Verticais (EQV)
Combinação I	1.00	0	0
Combinação II	1.00	1.00 →	0.3 ↑
Combinação III	1.00	1.00 ←	0.3 ↑
Combinação IV	1.00	1.00 →	0.3 ↓
Combinação V	1.00	1.00 ←	0.3 ↓

O efeito das forças sísmicas na estrutura pode ser computado no cálculo das novas tensões e parâmetros de segurança. Um comparativo entre os resultados estáticos e dinâmicos está na tabela 6 e na tabela 7. O sinal positivo antes das forças sísmicas horizontais indica força aplicada na direção da barragem para o reservatório, enquanto o sinal negativo indica o sentido contrário. Para a força sísmica vertical (EQV) o sinal positivo indica força na mesma direção da força peso da barragem (para baixo), enquanto que o sinal negativo o sentido contrário.

Tabela 6: Avaliação da Segurança Sísmica – Análise das Tensões.

C O M B	ANÁLISE DAS TENSÕES: $a_H = 0.075g$ e $a_V = 0.05g$							
	R _H (kN)	R _V (kN)	M _e (kN.m)	$\frac{M}{Z}$ (kPa)	$\frac{J}{Z}$ (kPa)	$\frac{M}{P}$ (kPa)	$\frac{J}{P}$ (kPa)	e (m)
I	37 011	74 016	221 110	-776	-1 296	-1 170	-1 954	2.99
II	46 277	72 742	550 616	-371	-1 666	-559	-2 511	7.57
III	27 745	72 742	-78 582	-1 111	-926	-1 674	-1 396	-1.08
IV	46 277	75 290	520 802	-442	-1 667	-666	-2 512	6.92
V	27 745	75 290	-108 396	-1 182	-927	-1 781	-1 397	-1.44

Tabela 7: Avaliação da Segurança Sísmica – Análise das Estabilidades

C O M B	ANÁLISE DAS ESTABILIDADES: $a_H = 0.075g$ e $a_V = 0.05g$						
	R _H (kN)	R _V (kN)	CSD Pico	CSD Res.	CST Mon.	CST Jus.	CSF
I	37 011	74 016	3.05	1.77	12.77	2.45	7.79
II	46 277	72 742	2.40	1.40	14.17	2.00	7.67
III	27 745	72 742	4.00	2.33	5.67	2.55	7.67
IV	46 277	75 290	2.48	1.44	12.50	2.09	7.91
V	27 745	75 290	4.13	2.41	5.32	2.68	7.91

Os gráficos da figura 3: (a), (b), (c), (d) e (e) ilustram e comparam os coeficientes de estabilidade sísmica calculados utilizando tanto a aproximação proposta por Westergaard [2] quanto a aproximação proposta por Silva [22], Equação (3), para o cálculo da pressão hidrodinâmica e conseqüentemente da força hidrodinâmica (H_d) na determinação dos referidos coeficientes.

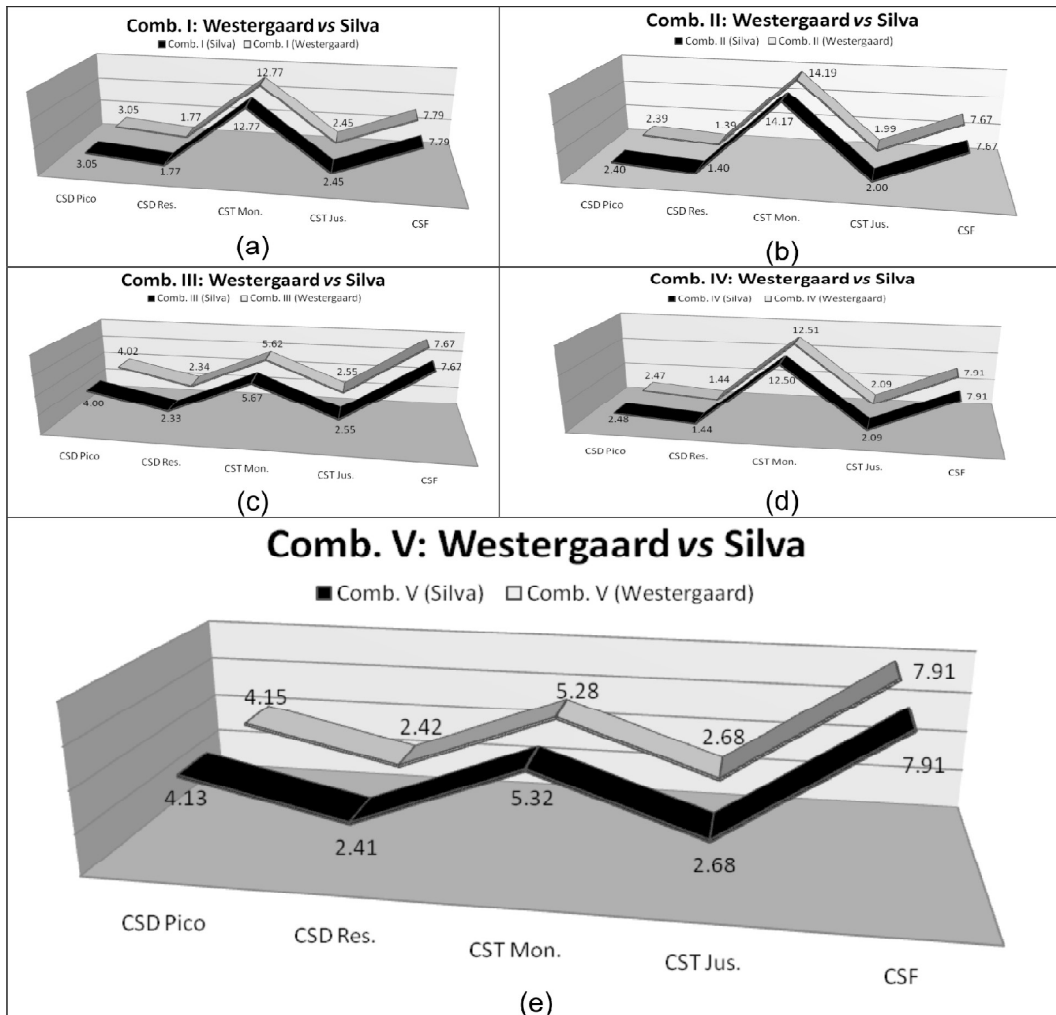


Figura 3: Coeficientes de Estabilidade Sísmica

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nesta aplicação, alguns comentários e conclusões podem ser evidenciados:

O critério de uma avaliação preliminar (Nível 0) é importante para avaliar a severidade das cargas sísmicas. Uma análise pseudo-estática é adequada se a barragem pode ser considerada como um corpo rígido, o que significa ter em geral um período de vibração fundamental inferior a 0.03 s.

Ao compararem-se os resultados da tabela 7 com os coeficientes de segurança dados pelo CDA-1999, verifica-se que o perfil adotado atende na maioria dos casos as exigências das normas, caracterizando com isto um perfil corretamente projetado, aspecto que poderia preliminarmente (sob reservas) permitir inferências positivas para um caso como o da Barragem de Tucuruí.

Através dos gráficos da figura 3, observa-se que os coeficientes de estabilidade sísmica que são obtidos através da aproximação analítica proposta para a pressão hidrodinâmica no Método Pseudo-Estático estão em perfeita concordância com os coeficientes obtidos quando se faz uso da formulação de Westergaard.

4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FIDES-Pará/Brasil e à UNAMA pelos recursos materiais (equipamentos) e financeiros (bolsas) colocados à disposição desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] LECCRE, M., LÉGER, P. and TINAWI, R. **CADAM 2000 user's manual**. Versão 1.0.1. Montreal: École Polytechnique de Montreal, 2000.
- [2] WESTERGAARD, H.M. **Water pressures on dams during earthquakes**. Transactions ASCE, 59(8), Part 3, p. 418-472, 1933.
- [3] PRISCU, R. **Earthquake engineering for large dams**. 2. ed. Bucaresti: Editura Academiei, 1985.
- [4] GHRIB F., LÉGER P., TINAWI R., LUPIEN R. and VEILLEUX M. **Seismic Safety Evaluation of Gravity Dams**. Hidropower & Dams, p. 126 - 138, v. IV, Issue II, 1997.
- [5] SOUZA JR, L.C. & PEDROSO, L.J. **Um Tratamento Simplificado para Avaliação da Segurança Sísmica em Barragens Gravidade de Concreto - Método Pseudo-Estático**. 5th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission (V CLAGTEE), São Pedro-SP, 2003.

- [6] SILVA, S.F. & PEDROSO, L.J. **Desenvolvimento Passo a Passo do Método Pseudo-Estático para uma Análise Sísmica Preliminar em Barragens Gravidade de Concreto**. Relatório Técnico de Pesquisa. RTP 1/05 - UnB-FT/ENC, Brasília, 2005.
- [7] RIBEIRO, P.M. **Uma metodologia analítica para a avaliação do campo de tensões em barragens de concreto durante terremotos**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 139p., 2006.
- [8] PEDROSO, L.J. **Fluid-Structure Interaction and Earthquake Analysis In Concrete Dams**. Relatório de Estudos de Pós-Doutorado, University of Montreal, École Polytechnique, Civil Engineering Department, Structural Division, 2000.
- [9] SILVA, S.F. & PEDROSO, L.J. **Avaliação Preliminar da Segurança Sísmica de um Perfil Típico em Barragem de Concreto Gravidade**. XXVI Seminário Nacional de Grandes Barragens, Goiânia-GO, 2005.
- [10] PEDROSO, L.J. **Metodologias para o Tratamento de Problemas Hidrotécnicos em Engenharia de Barragens**. Projeto de Pesquisa Eletronorte/UnB, Brasília, 2004.
- [11] USBR (UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION). **Design of Small Dams**, Denver Colorado, 1987.
- [12] USCOLD (US COMISSION OF LARGE DAMS). **Guidelines for Earthquake Design and Evaluation of Structures Appurtenant to Dams**, 1995.
- [13] FERC (FEDERAL ENERGY RCGULATORY COMMISSION). **Engineering guidelines for evaluation of hydropower projects**. Federal Energy Regulatory Commission, Office of Hydropower Licensing, Report No. FERC 0119-2. Washington DC, USA, 1991.
- [14] CDSA (CANADIAN DAM SAFETY ASSOCIATION). **Dam Safety Guidelines**. Edmonton, Alberta, 1995.
- [15] CDSA (CANADIAN DAM SAFETY ASSOCIATION). **Dam Safety Guidelines and Commentaries**. Edmonton, Alberta, 1997.
- [16] WESTERGAARD, H.M. **Water pressures on dams during earthquakes**. Transactions ASCE, v. 57, n. 9, p. 1301-1318, 1931.
- [17] CEA (CANADIAN ELECTRICAL ASSOCIATION). **Safetv assessment of existing dams for carthquake conditions. - Volume B: ground motion parameter maps**. Report No. 420 G, 547, Montreal, Quebec, Canadá, 1990.
- [18] PROULX J., PAULTRE P., DURÓN Z., PHAT T.M., IM O. **Dynamic Testing of the Outardes 3 Gravity Dam**, Comptes rendus de la Tenth World Conference on Earthquake Engineering, 6, Madrid, Espagne, 1992.

- [19] LÉGER, P. E. TINAWI, R. **Lecture Notes of the Seminars on Research and Development of Security and Structural Integrity of Concrete Dams**.-UM/Poly –Montreal, 2000.
- [20] PEDROSO, L.J. & MORAIS, M.V.G. **Compressibility Effects in Water-Dam Interaction**.VII Congresso Panamericano de Mecânica Aplicada-PACAM VII.Temuco, Chile, 2002.
- [21] PEDROSO, L.J. **Fluid-Structure Interaction and Earthquake Analysis In Concrete Dams**. Relatório de Estudos de Pós-Doutorado, University of Montreal, École Polytechnique, Civil Engineering Department, Structural Division, 2000.
- [22] SILVA, S.F. **Interação Dinâmica Barragem-Reservatório: Modelos Analíticos e Numéricos**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil. E.TD - 005A/07. UnB-FT/ENC, Brasília-DF, 2007.
- [23] SILVA, S.F. & Pedroso, L.J. **Avaliação Preliminar da Segurança Sísmica de um Perfil Típico em Barragem de Concreto Gravidade**. In: XXVI Seminário Nacional de Grandes Barragens, Goiânia-GO, 2005.
- [24] LAMB, H. **Hydrodynamics-6th Ed.** Dover, New York, 1945.