

# **Capítulo 163**

## **Efeito sísmicos em barragens**

## Capítulo 163- Efeito sísmicos em barragens

### 163.1 Introdução

Quando estudava engenharia civil na EPUSP nada aprendi sobre os efeitos sísmicos, pois, conforme todos diziam: não temos terremotos em nosso país.

Os anos foram se passando e começamos a ver nos jornais, eventos sísmicos de magnitude 1 a 3 em vários locais do Brasil.

O objetivo deste capítulo é mostrar como levar em conta tais eventos sísmicos nos cálculos de barragem e de paredes de concreto para contenção de água.

### 163.2 Teoria

C.N. Zangar em 1952 fez um estudo para o *Bureau of Reclamation chamado Hydrodynamic pressures on Dams due to horizontal Earthquake effects.*

Neste estudo foi deduzida a equação:

$$P_e = C \cdot \alpha \cdot Y \cdot H$$

Sendo:

$P_e$  = pressão horizontal na altura  $h$  (kN/m<sup>2</sup>)

$C$  = coeficiente de distribuição das pressões (kN/m<sup>3</sup>)

$\alpha$  = intensidade horizontal do terremoto =  $a/g$  (adimensional)

$a$  = aceleração devida ao terremoto

$g$  = aceleração de gravidade = 9,81(m/s<sup>2</sup>)

$Y$  = peso específico da água (kN/m<sup>3</sup>)

$H$  = altura da barragem (m)

Nota: o braço para cálculo do momento é 0,4H.

Pressão estática da água

$$p = Y \cdot h$$
$$F = Y \cdot h^2 / 2$$

Sendo:

$P$  = pressão hidrostática da água (kN/m<sup>2</sup>)

$F$  = força total horizontal da água na parede vertical (kN)

peso específico do concreto: 23,50 kN/m<sup>3</sup>

Pedras (masonry) = 22,5 kN/m<sup>3</sup>

Nota: o braço para o cálculo do momento das forças estáticas é 0,5H.

O valor de  $\alpha$  varia de 0,03 a 0,1 para as forças horizontais, sendo menor as forças verticais,. Na Índia, 2004 se usa  $\alpha = 0,15$ , que é um valor bem alto.

Uma barragem de concreto ou terra possui um período de vibração variando de 0,08 s a 1,00 s., sendo comumente adotado 0,2s.

Uma maneira de se obter o valor de  $C$  para um barramento de concreto com parede vertical de montante:

$$C = 0,9 / (1 - 7 (H/1000T)^2)^{0,5}$$
$$\text{Índia, 2004 } C = 8,0143 / (1 - 0,72 (H/304,8.T)^2)^{0,5}$$

Sendo:

$H$  = altura do barramento (m)

$T$  = período de frequência do terremoto no período em segundos = 0,2 s

$C$  = fator kN/m<sup>3</sup>. Caso não tenhamos este dado adotar  $C = 8,2$  kN/m<sup>3</sup> (Índia, 2004)

### 163.3 Análise pseudo-estática

A intensidade aceleração do efeito sísmico  $a_h$  (horizontal) e  $a_v$  (vertical),  
Portanto, temos forças horizontais e forças verticais,  
A análise pseudo-estática é a combinação dos efeitos do reservatório de água com os efeitos sísmicos.

As forças de inércia na barragem conforme Novak et al, 2010 são:

$$\text{Forças horizontais } P_{mh} = \pm a_h \cdot P_m$$

$$\text{Forças verticais } P_{mv} = \pm a_v \cdot P_m$$

Sendo:

$P_{mh}$  = força horizontal

$P_{mv}$  = força vertical

$P_m$  = força de inércia da barragem sozinha

$\Phi$

Em qualquer profundidade  $z_1$  abaixo do nível da superfície da água, a pressão hidrodinâmica obedece as análises de Westgaard, 1933 in Novak et al, 2010

$$p_{wh} = C_e \cdot a_h \cdot \gamma \cdot z_{max}$$

Sendo:

$p_{wh}$  = pressão em  $\text{Kn/m}^2$

$\gamma$  = peso específico da água =  $9,81 \text{ kN/m}^3$

$z_{max}$  = máxima profundidade da água na seção considerada (m)

$a_h$  = aceleração horizontal

$C_e$  = fator sísmico de pressão fornecido por uma tabela e depende da profundidade e do ângulo  $\Phi$  de inclinação da parede a montante da barragem de concreto

Tabela 163.1= Fatores sísmicos de pressão  $C_e$

Razão $z_1/z_{max}$	Fator sísmico de pressão $C_e$	
	Ângulo $\Phi = 0^\circ$	Ângulo $\Phi = 15^\circ$
0,2	0,35	0,29
0,4	0,53	0,45
0,6	0,64	0,55
0,8	0,71	0,61
1,00	0,73	0,63

A resultante das cargas hidrodinâmicas é dada pela equação conforme Novak,

$$P_{wh} = 0,66 C_e \cdot a_h \cdot \gamma \cdot (z_1/z_{max})^{0,5}$$

Esta força resultante age na altura  $0,4z_1$  e tal força chega em algumas vezes a 50% de aumento das cargas inerciais.

As forças de pressão freáticas permanecem inalteradas com os efeitos sísmicos.

**Equilíbrio na barragem de concreto**

A somatória das forças horizontais  $\Sigma H$  na barragem de concreto assim como a somatória das forças verticais  $\Sigma V$  deverá ser zero.

A somatória dos momentos  $\Sigma M$  aplicados na barragem também deverá ser zero.

$$\Sigma H = \Sigma V = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

**163.4 Bibliografia e livros consultados**

- BUREAU OF INDIAN STANDARDS. *Criteria for structural design of spillway training walls and divide walls*. Outubro de 2004, 7 páginas.
- FEMA COASTAL AREAS. *Building on Strong and safe foundations*. Recommended residential construction for coastal areas. 31 páginas.
- FEMA *Federal guidelines for dam safety*. Maio 2005, 60 páginas.
- LING,FERRY. *Seismic analysis of basement wall structure with pseudo-static and dynamic method*. Jakarta, 10 páginas.
- NOVAK, P. et al. *Hydraulic structures*. 4ª edição 2010. 700 páginas.
- ZANGAR,C.N, *Hydrodynamic pressures on dams due to horizontal earthquake effects*, Colorado, ano 1952, 15 páginas.