

Newton de Oliveira Carvalho¹ e Wellington Coimbra Lôu²

ABSTRACT -- The text presents, in summarized form, general considerations on the problems of the silting up of water reservoirs, recording that which took place in the Mascare - nhas Dam on the Doce River and in the Sobradinho Lake on the São Francisco River.

The main interest is focused on the evaluation of the useful life of the dam on the Rio Manso in the State of Mato Grosso, with the application of more realistic and precise silting-up calculations.

RESUMO-- Este trabalho foi desenvolvido para a Comissão de Barragens de Terra e Enrocamento do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens. Foi inicialmente publicado na revista Construção Pesada de novembro de 1980. Consta de um resumo da experiência mundial no que diz respeito à segurança de barragens de terra e enrocamento frente a sismos e dos métodos de cálculo que vêm sendo utilizados. Recomenda o abandono dos cálculos pseudo-estáticos e conclui que, nas condições de sismicidade do Brasil, dificilmente se justificará qualquer medida especial de projeto ou o emprego de análises dinâmicas.

É recomendável que se proceda a um estudo semelhante para as barragens de concreto, numa tentativa de se responder à seguinte questão: justifica-se a execução de análise dinâmica para estas estruturas?

INTRODUÇÃO

Mais do que qualquer sismo natural, foram os sismos induzidos que chamaram a atenção para a segurança das barragens brasileiras frente aos tremores de terra. Entretanto, ao se considerar este aspecto da segurança das barragens de terra e enrocamento, não serão distinguidos os sismos naturais dos induzidos, uma vez que seus efeitos são equivalentes.

Contrariamente à experiência brasileira, as preocupações do meio técnico internacional derivaram principalmente de eventos naturais, quais sejam, as extensas rupturas de taludes naturais ocorridas no terremoto do Alaska (1964), a ruptura do reservatório de Baldwin Hills, em Los Angeles (apesar de na verdade não ter sido causada por terremoto) e a grande ruptura do talude de montante da Barragem Lower San Fernando, ocorrida no terremoto de San Fernando (1971). Além disso, acresce-se o fato de estarem sendo construídas barragens de altura sem precedentes, que trariam consequências desastrosas qualquer que fosse a causa da ruptura (Seed, 1973).

CONHECIMENTO DO ASSUNTO - EXPERIÊNCIA MUNDIAL

A preocupação com a resistência das barragens de terra a tremores é relativamente recente, uma vez que são conhecidos muito poucos casos de ruptura devido a tremores e que as barragens de grande altura, associadas, portanto, a um elevado risco, só têm se desenvolvido nas últimas décadas; as barragens de terra baixa geralmente têm um considerável coeficiente de segurança intrínseco

¹ DNOS - Departamento Nacional de Obras e Saneamento
² ENGEVIX S.A.

¹ Chefe do Departamento de Engenharia Civil da CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais.

contra danos sísmicos pesados (Resendiz, 1975).

Seed e outros (1978) coletaram informações sobre o comportamento de grande número de barragens de terra, relacionadas principalmente a seis grandes terremotos, com o propósito de compilar os dados disponíveis sobre o assunto. Concluíram o seguinte:

- as barragens de aterro hidráulico são vulneráveis a rupturas em condições desfavoráveis, mas se forem construídas com taludes razoáveis, sobre fundações de boas características, elas podem resistir a tremores moderadamente fortes, da ordem de 6,5 a 7 (Richter) e com acelerações de 0,2 g.
- praticamente toda barragem bem construída pode suportar tremores moderados, com acelerações de pico da ordem de 0,2 g.
- barragens construídas de solos argilosos em fundações de argila ou rocha suportaram acelerações muito fortes, variando de 0,35 a 0,80 g., originadas por tremores de magnitude 8,25.
- duas barragens de enrocamento resistiram a tremores moderadamente fortes sem apresentar estragos significativos.
- as barragens susceptíveis de causar problemas são aquelas que incorporam grandes massas de material sem coesão, que pode perder resistência devido a incremento de pressões neutras causadas pelos tremores.
- algumas barragens se romperam em períodos de até 24 horas após o terremoto, sugerindo que a ruptura foi causada por "piping" ocorrido através de trincas produzidas pelos sísmos.

Anteriormente, Newmark (1965) já afirmava que, em geral, em todos os materiais de aterros compactados e em muitos estratos de solo natural, a resistência dinâmica ao cisalhamento é aproximadamente igual ou ligeiramente maior do que a resistência estática.

Pode-se, portanto, admitir que uma barragem assentada sobre uma boa fundação rochosa, construída segundo a prática moderna, não estará sujeita a deslocamentos permanentes de importância quando submetida ao mais forte tremor concebível atualmente (Sherard, 1975).

Inicialmente, a avaliação da capacidade de uma barragem suportar tremores era feita através do método pseudo-estático, no qual se inclui, nos cálculos de estabilidade de taludes por equilíbrio limite, uma força horizontal produzida por uma aceleração de valor equivalente a uma fração da gravidade e que depende da intensidade do terremoto previsto.

Posteriormente, foram desenvolvidas análises dinâmicas, baseadas no fato de que partes da barragem podem ser submetidas a forças de inércia suficientemente grandes para baixar o coeficiente de segurança a valores inferiores à unidade, por pequenos períodos, provocando deslocamentos permanentes, os quais cessam quando a aceleração diminui de intensidade ou reverte seu sentido. O efeito global pode ser um deslocamento cumulativo de uma seção da barragem, mas quando cessam as vibrações do terreno, cessarão os deslo-

camentos, a menos que a resistência do solo tenha baixado a um valor suficiente para provocar instabilidade em condições estáticas (Seed, 1973).

As análises dinâmicas têm-se desenvolvido muito nos últimos anos, mas ainda há grandes diferenças de concepção, e cada caso em estudo é quase um projeto de pesquisa (Lane, 1979). Além disso, as análises dinâmicas envolvem custos elevados, justificáveis somente para obras importantes, localizadas em zonas de alto risco sísmico (Wahler, 1975).

Por outro lado, considera-se que, apesar da sofisticação alcançada na Dinâmica dos Solos, tanto experimental quanto analítica, o projeto sísmico de barragens ainda é principalmente uma arte e que um projeto eficiente e seguro depende do critério e da perícia do projetista. As novas técnicas estão ainda limitadas a guiar o projetista de uma maneira essencialmente qualitativa (Liam Finn, 1979).

Portanto, conclui-se que os esforços devem ser concentrados em barragens com possibilidades de apresentar problemas, ou devido a tremores muito fortes, ou porque contenham grandes massas de solo não coesivo (Seed e outros, 1978).

O problema de decidir-se quais as diferenças de projeto e de métodos construtivos que devem ser usados em regiões sujeitas a terremotos, em comparação com o que se usaria para uma barragem melhante localizada em região não sísmica, é o aspecto individual mais discutível da construção de barragens de terra (Sherard, 1975).

Entretanto, pode-se dizer que as precauções necessárias para se evitar danos de monta a uma barragem de terra, ou mesmo sua ruptura, durante um terremoto, incluem o seguinte (Seed, 1973):

- evitar-se falhas significativas na fundação.
- prever-se uma borda livre ampla.
- usar-se zonas de transição largas, constituídas de materiais de filtro não susceptíveis de se trincarem.
- usar-se núcleos largos constituídos de materiais com características autocicatrizantes.
- adotar-se precauções contra ondas no reservatório, provocadas diretamente pelos tremores (seiches) ou por escorregamento de encostas do reservatório.
- adotar-se detalhes de crista visando minimizar a erosão em caso de transbordamento.
- Adotar-se medidas para prevenir escorregamento dos taludes da barragem, ou do corpo da mesma em relação à fundação.

CONSIDERAÇÕES APLICÁVEIS AO BRASIL

Tem sido comum no Brasil a utilização de análises pseudo-estáticas com uma aceleração da ordem de 0,05 g. Recomenda-se o abandono desta prática pelos dois motivos seguintes: primeiro este tipo de análise não tem mudado em nada

BY

Cássio Baumgratz Viotti¹

ABSTRACT -- This work was developed for the Earth and Rockwall Dams Committee. It was first published in the magazine *Construção Pesada* (Heavy Construction) in November 1980. It includes a summary of world experience with regard to earth and rockwall dam security against earthquakes and of the methods of calculation that are being used. It recommends abandoning pseudo-statistical calculations and concludes that, under conditions of seismic activity in Brazil, it would be difficult to justify any special design measures or the use of dynamic analyses.

It is recommendable that a similar study be carried out for concrete dams, in an effort to reply to the following question: is the carrying out of dynamic analyses justified for these structures?

¹CEMIG - Centrais Elétricas de Minas Gerais