

CONSIDERAÇÕES SOBRE RECUPERAÇÃO DE BARRAGENS*

Considerations on dam recovery

por
MARCOS DE OLIVEIRA GUERRA**

RESUMO — O objectivo deste artigo é o de apresentar algumas considerações sobre a recuperação de barragens, especialmente aquelas que se encontram em operação. Dá-se destaque ao acompanhamento do desempenho dessas estruturas, ao longo das respectivas vidas úteis e aos critérios adoptados, apresentando-se a correspondente experiência recolhida nas barragens do Guarapiranga (1909) e do Rio Grande (1937), ambas construídas no Brasil. São indicadas algumas recomendações sobre os princípios gerais a adoptar em casos futuros referindo, em particular, os relativos à instrumentação e ao controle de segurança.

SYNOPSIS — The aim of this paper is to present a study on the recovery of dams safety, mainly on those ones under operation. Emphasis is given on the study of the safety work life of these structures and of the monitoring criteria used; the experience obtained from two brasilian dams — Guarapiranga (1909) and Rio Grande dam (1939) — is presented. Some recommendations are made on the general principles to be followed in future cases, focusing on the regular procedures concerning dam monitoring and safety control.

1 — INTRODUÇÃO

A recuperação de barragens, entendida como o conjunto de medidas destinadas a repor as características de funcionalidade e segurança mínimas, face aos critérios actuais, é uma actividade cada vez mais necessária, tendo em conta o tempo de vida útil já decorrido para a maioria das obras existentes.

Apesar de apenas um pequeno número de donos de obra estar devidamente motivado para a observação e manutenção sistemática das barragens, as preocupações com a integridade estrutural são relativamente comuns. Assim, têm sido desenvolvidas algumas acções visando a correcção de situações como as que prefiguram a existência de um risco para a integridade estrutural. A necessidade de um melhor aproveitamento das capacidades tem também conduzido à adopção de medidas de adaptação. Nem sempre tem sido obtido o sucesso desejado, possivelmente por, nos casos correspondentes, as acções, ao invés de terem sido desencadeadas em função de leis, normas ou recomendações e apoiadas em conhecimentos e tecnologias provadas em casos anteriores, terem sido encaradas como soluções avulsas. Também o facto de a bibliografia existente ser muito dispersa e escassa não facilita o estudo de casos anteriores semelhantes, estudo que evitaria a repetição de erros e a utilização de processos que já revelaram a sua falência técnica noutras circunstâncias.

*A discussão do trabalho está aberta por um período de três meses.

**Engenheiro Civil, Chefe do Departamento de Engenharia Civil da ELETROPULO — Electricidade de S. Paulo S/A.

Para além das situações mencionadas a título de exemplo, muitas outras haverá certamente a considerar, quando se proceder à aplicação dos critérios de verificação da funcionalidade e da segurança actuais a barragens existentes. De facto, o conceito de que, uma vez ultrapassada a prova de carga que constitui o primeiro enchimento, a ocorrência de situações críticas tem uma probabilidade diminuta está ultrapassado. A desagregação do concreto, a agressividade do meio, a fadiga dos materiais, o desenvolvimento de trajectórias de tensões ou de deformações não previstas, a variação dos gradientes térmicos e hidráulicos, a acção físico-químico-biológica da água de percolação, a colmatagem de filtros e drenos são, entre diversos outros, agentes que podem afectar o desempenho das obras. Por outro lado, as alterações do meio e das finalidades das barragens ao longo do tempo incorporam novos condicionantes, que podem provocar situações de conflito com os objectivos iniciais.

O registo de 420 casos históricos de acidentes/roturas de barragens (248 nos Estados Unidos e 172 nos demais países) demonstra que os problemas de desempenho ocorrem nos diversos períodos desde a fase construtiva à operacional. Destes, os que mais se destacam são os subsequentes ao término das obras, pelo que devem, em regra, ser objecto de cuidados especiais (Fig. 1).

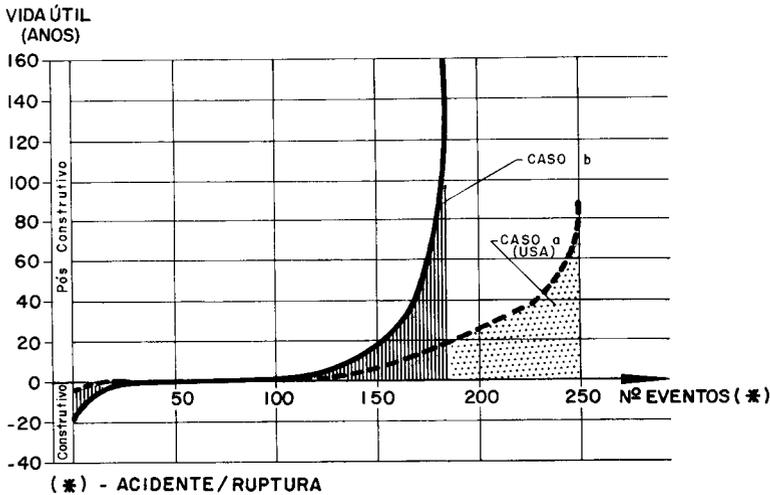


Fig. 1 — Acidentes/Rupturas × Vida Útil

A distribuição estatística dos insucessos, apresentada na Fig. 1, oferece as seguintes conclusões:

- Durante a fase de instalação das solicitações principais (que decorre aproximadamente, até ao término do primeiro enchimento) ocorrem 52% dos casos de acidentes/roturas;
- 48% dos insucessos verificam-se após esta fase, em consequência dos quais os aproveitamentos tiveram de sofrer limitações operacionais ou obras de recuperação, reduzindo, assim, o benefício esperado.

Mesmo em barragens recentes, para as quais foram usados sofisticados métodos de cálculo e previsão de comportamento, baseados em estados de tensões e deformações, e foram aproveitados, entre outros, os melhores conhecimento e uso dos materiais de construção, e os recursos de instrumentação, tem sido frequente que, nos períodos subsequentes à conclusão das obras, os meios utilizados fiquem muito aquém daqueles. Para as barragens antigas a situação resulta agravada pela inexistência, na maior parte delas, dos elementos de projecto, dimensionamento e registos das observações e análises de comportamento.

Tendo em vista a divulgação do assunto junto à comunidade e considerando os reflexos económico-sociais ligados aos incidentes em barragens, assiste-se a uma tendência, no meio técnico, no sentido da definição de novos conceitos abrangendo o projecto, a construção, a operação e a recuperação dos aproveitamentos existentes. Tal preocupação é um aspecto constante nas acções promovidas pela Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD) como o tem sido nos Seminários Brasileiros de Grandes Barragens, ocorridos em 1963, 1976, 1978, 1985 e 1987.

A recuperação de barragens não é um facto novo no Brasil. Na antiga LIGHT - Serviços de Electricidade S/A, concessionária actuante, na época, no eixo Rio de Janeiro — São Paulo, havia a preocupação com a fiabilidade das estruturas componentes do Sistema Hidráulico, nos mesmos moldes dos recomendados recentemente, por exemplo, pela ICOLD e pelo Bureau of Reclamation ou pelo US Corps of Engineers. Já em 1944 se adoptou a prática de auditoria técnica para aferição do comportamento das barragens, bem como para projectos de recuperação para os casos mais críticos. Destacam-se as participações sistemáticas do Prof. A. Casagrande, K. Terzaghi, Fox, entre outros, em várias oportunidades, com benefícios inegáveis para a manutenção da segurança de tais aproveitamentos.

2 — SISTEMA HIDRÁULICO

O Sistema Hidráulico da Eletropaulo - Electricidade de São Paulo S/A é formado por estruturas construídas há mais de 50 anos e tem múltipla finalidade: geração de energia, abastecimento, saneamento, controle de cheias, lazer, etc. Tais barragens foram construídas segundo as práticas correntes da época. Estão localizadas num planalto correspondente à Bacia do Alto Tietê, com área de drenagem de 5720 km². O intenso crescimento demográfico da região, nas 3 últimas décadas, provocou a redução das áreas de cobertura vegetal, o que vem ocasionando aumento significativo das vazões de cheias. A ocupação urbana já atinge níveis médios de 50 a 60% e o coeficiente de escoamento superficial 0,5 (Fig. 2).

Diante das múltiplas finalidades do Sistema Hidráulico e das estreitas faixas de operação, a fiabilidade do desempenho das barragens tem de ser a máxima possível. A concentração de barragens construídas com o auxílio da hidromecanização, seguindo o conhecimento e práticas das décadas de 1920/1930, o envolvimento da mancha urbana e o facto de o sistema contar com estruturas classificadas como de alto risco, levaram a Eletropaulo a estabelecer um sistema de auscultação contínuo e a promover sistemáticas revisões nos projectos, as quais geram obras de recuperação.

Para tanto, são adoptados critérios específicos para cada caso, mas que, em linhas gerais, são resumidos a:

- 1) aproveitar a experiência disponível e o conhecimento sobre o desempenho verificado nos períodos construtivos e pós-construtivos;
- 2) inventariar os dados técnicos, fenómenos ocorridos, problemas, acidentes, características geotécnicas ou estruturais e análise dos resultados da instrumentação instalada;

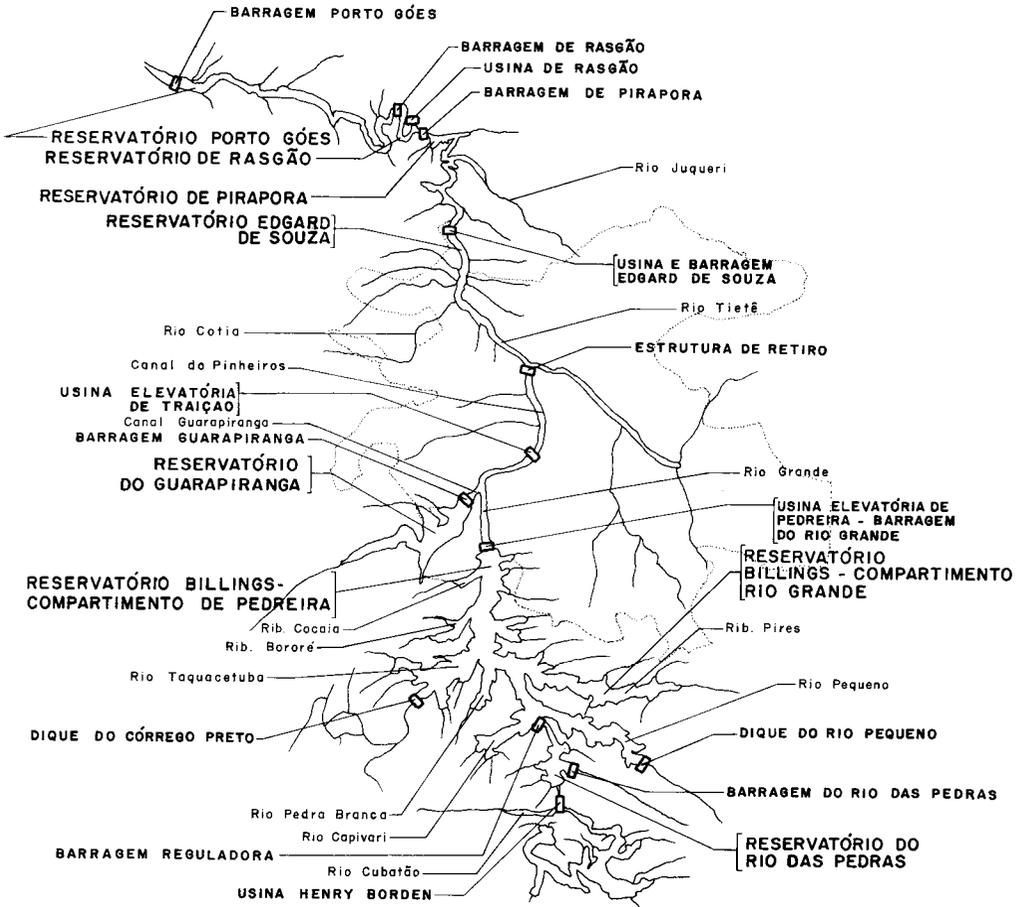


Fig. 2 — Sistema Hidráulico da Eletropaulo

- 3) efectuar o diagnóstico de cada caso, com informações obtidas através de investigação e instrumentação complementares. O envolvimento de consultores independentes, de reconhecida experiência, além de prender-se a aspectos técnicos também se tem mostrado conveniente, sempre que uma posição neutra aos interesses do proprietário seja requerida;
- 4) discutir o problema e o diagnóstico procurando otimizar as soluções, em termos de recursos e de resultados;
- 5) acompanhar sistematicamente o desempenho das barragens recuperadas, com metodologia adequada, onde se destaca a automatização da informação e aumento da frequência das observações.

3 — EXEMPLO DE RECUPERAÇÃO DE BARRAGENS DO SISTEMA HIDRÁULICO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

3.1 — Barragem do Guarapiranga — São Paulo (Fig. 3)

A Barragem do Guarapiranga foi construída de 1906 a 1909 com o auxílio da hidromecanização. O aterro, de tipo zonado, tem como fundação estratos sedimentares recentes formados por areias, argilas e siltes sobrepostos a uma camada de solo de alteração de gnaiss. Ao longo do eixo da barragem foi construída uma cortina de vedação composta de estacas-prancha de madeira cravadas na fundação e unidas entre si por meio de chapas de aço corrugadas, revestidas com betume. A 20 m a montante desta linha de estacas, já no período operacional, outra cortina de vedação foi construída.

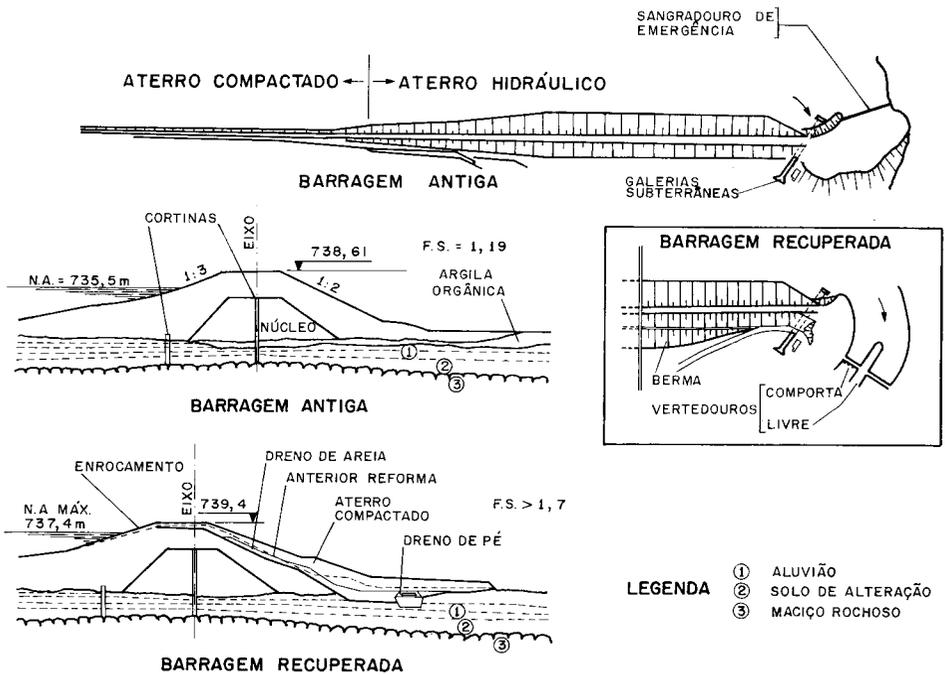


Fig. 3 — Barragem do Guarapiranga

O desempenho da Barragem do Guarapiranga ao longo de 67 anos foi considerado como satisfatório.

Em decorrência às sucessivas alterações verificadas na Região Metropolitana de São Paulo, com a impermeabilização do solo e envolvimento do reservatório pela mancha urbana, registou-se, em 1976, uma precipitação intensa e o aterro foi submetido às máximas solicitações possíveis.

A análise da segurança, segundo os critérios antigos, revelou uma situação de aparente normalidade. Porém, as campanhas de investigações e estudos desenvolvidos a partir de 1976 mostraram que o coeficiente de segurança se aproximava de 1,13 a 1,19, facto agravado pela possibilidade de liquefacção das camadas de areias finas da fundação e pela falta de suporte, verificada na parte central do aterro, devidos à presença de espessa camada de argilas orgânicas saturadas e de baixa consistência (SPT 0 a 1).

O estudo detalhado do modelo geotécnico e dos resultados disponíveis possibilitou a seguinte constatação: elevado nível de subpressões nas fundações; insuficiência de pressões confinantes e baixo peso passivo a jusante; baixa resistência e alta compressibilidade da fundação; alto potencial de liquefacção e erosão interna; carreamento de solos finos; erosão superficial; afundamento do rip-rap de montante; assentamentos diferenciais; núcleos de argila saturados, etc.

A localização especial desta barragem e o quadro apresentado como diagnóstico levou à recuperação da barragem por meio das seguintes obras:

a) reparação da fundação (jusante)

O objectivo deste trabalho foi o de remover a maior parcela possível de material orgânico, em especial as argilas orgânicas pretas e os solos moles, de maneira a formar uma nova fundação, com material de melhor qualidade, para suportar o retaludamento da face jusante. Para tanto, houve necessidade de manter enérgico sistema de rebaixamento, já que o nível freático atingia o pé do talude de jusante. As escavações foram limitadas a trechos de 10 m, de forma a evitar o descalçamento do aterro.

b) drenagem da fundação e do talude de jusante

Com a finalidade de solucionar os problemas das elevadas subpressões, da falta de drenagem e evitar a erosão interna, executou-se um filtro inclinado e um tapete horizontal. A água de percolação foi dirigida e colectada através de um dreno de pé interceptado por poços de observação e medição do caudal recolhido. Próximo do contacto do aterro com a ombreira natural esquerda, devido à limitação do sítio de trabalho, executaram-se apenas poços de alívio com estacas de areia ligadas ao tapete horizontal. Esta medida foi considerada válida devido ao risco elevado que envolvia a escavação e troca de material da fundação, e também porque não foi identificado material argiloso orgânico em quantidades significativas.

c) retaludamento

Para aumentar o peso das camadas resistentes e o coeficiente de segurança, utilizou-se cerca de 180 000 m³ de argila coluvionar para a construção de um aterro compactado, abrandando o talude de jusante (1V:3H).

d) acabamentos

Ainda referente à segurança do aterro hidráulico também se efectuaram trabalhos de recuperação do rip-rap com uma camada de 0,3 m de pedra n.º 3, que actua como transição da antiga protecção e a actual, esta última com 0,5 m de espessura. O topo da barragem foi regularizado e alteado em 0,50 a 0,80 m e impermeabilizado com asfalto. Os taludes e áreas a jusante receberam protecção vegetal e tratamento paisagístico, além de uma rede de drenagem superficial.

e) vertedouro

Uma das causas do agravamento da situação observada em 1976 foi a inexistência de um dispositivo de descarga adequado. As galerias de descarga disponíveis permitiam dar vazão a cerca de 150 m³/s, insuficientes para laminar uma cheia decamilar com pico da ordem de 1046 m³/s. Assim sendo, foi construído, na margem esquerda, um vertedouro de concreto, com 4 comportas (90 m³/s cada) e um vertedouro livre à cota 736,60 m, nível máximo normal.

A recuperação da Barragem do Guarapiranga fez com que o coeficiente de segurança atingisse, nas secções críticas, valores da ordem de 1,6 a 1,7. Desta forma, considera-se que, quanto à estabilidade e quanto às novas imposições e finalidades do aproveitamento, a mesma é, actualmente, uma estrutura fiável. Para manter esta fiabilidade está em andamento um programa com observações e inspecções semanais ou após uma precipitação mais intensa.

3.2 — Barragem do Rio Grande (Fig. 4)

Esta estrutura foi construída no período de 1926 a 1937 com o auxílio da hidromecanização.

Trata-se de uma barragem constituída por dois maciços de terra segmentados, na parte central, por uma secção de concreto, a qual abriga a Usina Elevatória de Pedreira. Os aterros são do tipo homogéneo.

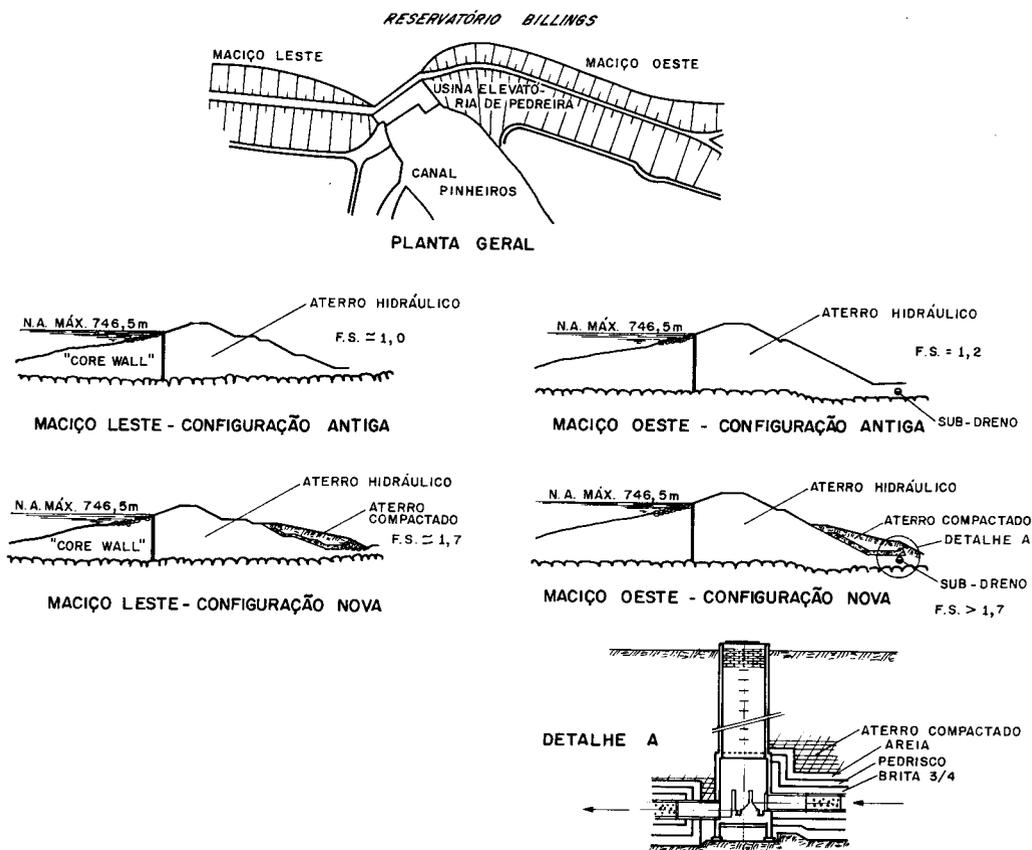


Fig. 4 — Barragem do Rio Grande

Destacam-se algumas das principais ocorrências que envolveram o seu desempenho, bem como as respectivas intervenções visando a sua recuperação:

- Em 1961 suspeitou-se que estivesse ocorrendo um início de "piping" no maciço leste. A ocorrência foi descrita como correspondendo a intensos vazamentos, com carreamento de material. O controle da situação foi obtido com rebaixamento do lençol freático, com ponteiros ("well-points"). O sistema de bombeamento operou até 1964; o sistema de ponteiros foi novamente activado em 1965, enquanto os estudos e projectos para uma solução estabilizante do maciço eram submetidos à análise do Prof. A. Casagrande.
- As obras de recuperação da barragem constaram, basicamente, da construção de uma berma de equilíbrio assente sobre um filtro de areia, além de um dreno de pé. Nesta ocasião também foi recomendado efectuar o mesmo tipo de serviço no maciço oeste ou, pelo menos, a reconstrução do subdreno existente, este último adoptado por medida de economia.
- Por volta de 1972 investigou-se, novamente, o desempenho insatisfatório do subdreno do maciço oeste, refeito havia pouco tempo. Os estudos indicaram boas condições físicas da obra realizada. Porém, devido à composição química do material encontrado nas camadas granulares e no interior do tubo perfurado (contendo 78,7% de óxido de ferro), ficou reconhecida a necessidade de melhor identificação das propriedades da água do reservatório e suas variações ao longo da percolação, bem como de análises químicas e mineralógicas do solo do aterro e da fundação.
- Dentro de uma nova sistemática de actuação (a recuperação de barragens já se tornara uma filosofia comum no sector de engenharia civil), efectuou-se, em 1978, uma pesquisa sobre os mecanismos de precipitação de compostos de ferro junto ao subdreno, bem como das características de estabilidade, chegando-se à conclusão de que era necessária a realização de obras de reforço para recuperar a confiança na estrutura. Nos estudos desenvolvidos foram considerados todos os registos sobre o desempenho e comportamento do maciço, propriedades físicas e feições geológicas/geotécnicas do período pré-construtivo e pós-construtivo, etc.
- As obras resultantes para a recuperação do maciço oeste consistiram na reconstrução do subdreno, com o afogamento das camadas drenantes, construção de uma berma de equilíbrio a jusante, restauração do encontro com a secção de concreto, recuperação do rip-rap de montante, drenagem superficial, regularização e impermeabilização da crista e instalação de instrumentação de controle.

4 — CONCLUSÕES:

- 1) Uma barragem não é uma estrutura invariável. As suas propriedades variam continuamente, melhorando ou não as suas características de segurança.
- 2) As alterações que interferem no desempenho das barragens podem ser consideradas, quanto à sua origem em:
 - Alteração das características de segurança (internas-estruturais)
 - Alteração da finalidade
 - Alteração das características do meio } (externas)
- 3) Cada recuperação de barragens constitui um evento, o qual não deve ser, geralmente, extrapolado para outros casos.

- 4) Os contactos entre o proprietário e os consultores têm dado excelente resultado e benefícios para a obtenção das finalidades propostas.
- 5) O método construtivo influencia o desempenho das barragens e condiciona as alternativas de soluções nos casos de recuperação.
- 6) A optimização das obras de recuperação é favorecida com a identificação e confronto dos modelos estrutural e comportamental dos maciços, fundações, encontros, etc.
- 7) As obras de recuperação de barragens em geral são executadas simultaneamente à operação das mesmas, o que pode ocasionar dificuldades técnicas e custos adicionais.
- 8) Há necessidade da formação de profissionais treinados e dedicados, exclusivamente, a este tipo de actividade.
- 9) O primeiro enchimento e o período construtivo nem sempre correspondem às piores situações de segurança. Os acidentes ou rupturas ocorrem nas secções mais frágeis, nem sempre previsíveis nos cálculos.

O desempenho observado e o controle contínuo podem indicar tendências e facilitar a interpretação do modelo real.

- 10) O principal recurso disponível para a avaliação e diagnóstico, bem como para acções preventivas, é o monitoramento através de um eficiente sistema de instrumentação e de observações visuais.

5 — AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa e à ELETROPAULO - Electricidade de São Paulo S/A a oportunidade para que houvesse intensa troca de experiências no campo de observações e segurança de barragens. De forma idêntica agradece o estímulo oferecido pelo eng.º A. Veiga Pinto bem como o apoio dos eng.ºs Charrua Graça, P. S. Sêco e Pinto, A. F. Silva Gomes e geólogo Henrique S. Silva.

BIBLIOGRAFIA

- ICOLD - International Commission on Large Dams — *Lessons from Dam Incidents*, 1974.
- ELETROPAULO - Electricidade de São Paulo S/A — *Plano Director de Avaliação — Estruturas e Instrumentação*, 1983/86.
- GUERRA, M. O.; FRANÇA, P. C. T. — *Hidromecanização — Experiência Brasileira nas Barragens do Rio Grande e Guarapiranga*. ABMS — Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 1986.
- GUERRA, M. O. — *Recuperação da Barragem do Rio Grande — Aspectos relativos à Segurança*. XVI Seminário Brasileiro de Grandes Barragens, 1985.
- GUERRA, M. O. — *Acção Química e Biológica na Colmatação de Filtros e Drenos de Barragens — Implicações no Comportamento da Barragem do Rio Grande*. XIII Seminário Brasileiro de Grandes Barragens, 1980.
- GUERRA, M. O. — *Experiência Brasileira em Aterros Hidráulicos*. Comissão de Barragens de Terra e de Enrocamento, Comité Brasileiro de Grandes Barragens, 1980.
- GUERRA, M. O. — *Guarapiranga Dam. Main Brazilian Dams. Design, Construction and Performance*. Brazilian Committee of Large Dams, ICOLD, 1982.
- GUERRA, M. O.; D'ANDRÉA, W. W. — *Recuperação de Barragens não Seguras*. Simpósio sobre Segurança de Barragens, 1986.
- FANTON, A. C.; PION, O. B. B.; GUERRA, M. O. — *A Experiência da Eletropaulo em Recuperação de Barragens*. XVI Seminário Brasileiro de Grandes Barragens, 1985.
- FRANÇA, P. C. T. — *Aspectos Geotécnicos da Recuperação da Barragem do Guarapiranga*. XVI Seminário Brasileiro de Grandes Barragens, 1985.