

# 1 INTRODUÇÃO

A construção de barragens, como outras obras de engenharia, auxiliaram na evolução da civilização humana através dos tempos. Em princípios do século XX, estas obras adquiriram grande importância técnica, econômica e social por atenderem às diferentes demandas das comunidades urbanas, cada vez mais populosas, relacionadas com a geração de energia elétrica, controle de vazão em cursos d'água, irrigação para agricultura, abastecimento de água potável, etc.

À medida que as dimensões das barragens foram aumentando, o projeto das mesmas passou gradualmente de conceitos simples, baseados em formulações empíricas e técnicas quase que intuitivas, para as análises modernas que consideram o comportamento da barragem em suas diversas fases de vida (construção, primeiro enchimento do reservatório, regime de plena operação), sob carregamentos estáticos e sísmicos, condições de contorno complexas e sofisticadas relações constitutivas para o maciço de fundação e para os materiais que formam a barragem propriamente dita, seja formada por terra, enrocamento, concreto ou de natureza mista como, por exemplo, barragens de enrocamento com face de concreto. A transição entre os projetos empíricos para os baseados em princípios racionais pode ser situada na década de 1940, com o surgimento da necessidade da construção de barragens de grande altura, com grande capacidade de armazenamento do reservatório d'água, bem como devido à evolução dos critérios e procedimentos técnicos advindos da nova ciência da mecânica dos solos, já então em pleno desenvolvimento. Os projetos destas grandes estruturas foram também gradualmente aperfeiçoados com a instalação de instrumentação geotécnica, originalmente destinada para monitorar os níveis de segurança da barragem, mas que também propiciaram, através de criteriosa comparação de valores previstos e medidos de tensões, deslocamentos, poropressões e vazões, analisar a influência dos diversos parâmetros de projeto e introduzir outros aspectos inicialmente desconsiderados como, por exemplo, os efeitos do método construtivo. As informações adquiridas dos processos completos de instrumentação, ensaios de campo e/ou laboratório e retroanálise do

comportamento da obra, foram especialmente úteis no caso das barragens de enrocamento visto o desempenho pouco satisfatório que apresentavam as estruturas mais antigas.

Outro aspecto fundamental a ser avaliado no projeto de barragens, principalmente em regiões que apresentam ocorrência de falhas geológicas, é a análise do comportamento da obra sob carregamento sísmico. É de interesse do projetista estimar os valores de tensões, deslocamentos, velocidades e acelerações máximas que podem ser geradas na estrutura sob a ação de terremotos, como no caso da barragem de terra de Pomacocha, analisada neste trabalho, situada no Peru em região de alto risco sísmico.

O objetivo desta pesquisa é analisar através do método dos elementos finitos o comportamento estático (durante a construção e primeiro enchimento do reservatório) e dinâmico (carregamento sísmico) de uma barragem de terra, através do programa de computador ABAQUS (versão 6.3) disponível no Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. Durante o desenvolvimento dos trabalhos tinha-se também como meta a comparação dos resultados obtidos com o programa ABAQUS, pacote comercial para aplicações em diversas áreas da engenharia civil, mecânica, hidráulica, etc., com aqueles determinados através do programa PLAXIS, “software” comercial voltado especificamente para problemas da engenharia geotécnica. Para o engenheiro geotécnico, julgou-se interessante haver uma avaliação comparativa das ferramentas numéricas e gráficas disponíveis em ambos os programas, bastante difundidos mundialmente como aplicativos de mecânica computacional, em termos de facilidade de uso (pré e pós-processamentos), biblioteca de elementos, relações constitutivas disponíveis, algoritmos incorporados, etc. Surpreendentemente, as mais recentes versões do programa Plaxis testadas (versões 7.2 e 8) mostraram-se incapazes de simular a construção incremental de barragens ou aterros, descrita no capítulo 4, não permitindo a realização da análise crítico-comparativa pretendida. A incapacidade do “software” para representação da construção incremental, após inúmeras tentativas de modelagens por este autor (alguns resultados listados no apêndice A), foi confirmada por analista da equipe técnica responsável pelo desenvolvimento do programa através de comunicação pessoal.

O trabalho é formalmente dividido em cinco capítulos, os quais contêm os seguintes temas: o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre procedimentos de análise de barragens de terra considerando aspectos de carregamento estático e sísmico, o capítulo 3 descreve o modelo computacional

para análise de barragens no contexto do programa ABAQUS, o capítulo 4 apresenta os resultados numéricos do comportamento da barragem de Pomacocha, Peru, enquanto que o capítulo 5 é reservado para apresentação das conclusões do trabalho e sugestões de futuros temas de pesquisa, relacionados com a simulação computacional do comportamento de barragens de terra.