

6 Conclusões

6.1. Análise estática

O modelo constitutivo HSM - Hardening Soil Model, implementado no programa computacional PLAXIS 2D v. 2010, foi utilizado para análises acopladas do comportamento estático da barragem de Recreta, situada no Peru, em várias fases de vida: construção, enchimento do reservatório (sob condições de fluxo transiente e permanente) e rebaixamento rápido do reservatório.

Dentre as principais conclusões do estudo estático, objetivo principal deste trabalho, destacam-se as seguintes:

1. Como comentado no item 5.2.1.2, o programa PLAXIS não simula totalmente a construção de aterros e barragens por etapas como confirmado no estudo de León (2003), devendo o usuário, com os resultados numéricos do programa, determinar os deslocamentos horizontais e verticais correspondentes a cada camada de solo lançada durante a construção. Conseguiu-se demonstrar uma forte diferença entre os valores de deslocamentos da construção por camadas e em uma única etapa.
2. A análise Hidromecânica acoplada é capaz de representar os deslocamentos da barragem de terra zonada durante o primeiro enchimento do reservatório, decorrente de vários fatores intervenientes (Nobari e Duncan, 1972).
3. Para otimizar a modelagem do fluxo no programa PLAXIS, o principal fator a levar em conta é a permeabilidade, pois valores muito baixos incrementam consideravelmente o tempo de processamento. Além disso, diferenças muito grandes na ordem de grandeza entre permeabilidades de materiais adjacentes podem gerar grandes divergências.
4. Na barragem zonada em estudo, o enchimento produz basicamente um efeito de rotação para a jusante, resultado da combinação de dois principais fatores. O primeiro fator está relacionado com os deslocamentos da montante principalmente em relação às componentes horizontais direcionadas para jusante (direita) e pela pressão hidrostática na face de

montante do núcleo (material de menor permeabilidade).O segundo fator relaciona-se com a submersão do espaldar de montante, devido ao conhecido empuxo de Arquimedes, que causam deslocamentos verticais ascendentes.

5. Os deslocamentos computados na modelagem do enchimento em uma única etapa ou em várias etapas se diferenciam unicamente no cálculo dos recalques, apresentando maiores valores para o enchimento em uma etapa única, sendo esta diferença desprezível nos deslocamentos horizontais.
6. Comparando os deslocamentos horizontais obtidos no enchimento com os da construção, pode-se observar valores bem distintos: na construção com direções variáveis e no enchimento só para direita à jusante. Em relação às poropressões, se observam maiores variações das poropressões à montante durante o enchimento incremental que no enchimento em uma única etapa. Esta variação nas poropressões causam a redução da resistência ao cisalhamento mobilizada.
7. O tempo calculado para atingir a condição de fluxo permanente com poropressões constantes foi bastante grande e não corresponde ao tempo real de saturação da barragem (steady state). Para que o tempo real fosse previsto, seria necessário determinar experimentalmente todos os parâmetros hidráulicos, conhecer as condições de umidade na compactação, além de realizar a simulação respeitando o cronograma de enchimento do reservatório.
8. Uma das grandes vantagens do modelo HSM é que permite obter a distribuição do módulo de rigidez de um mesmo material a diferentes profundidades, segundo o estado de tensão atuante para cada tipo de solicitação e transferência de esforços (por exemplo, o carregamento pelo peso próprio durante a construção, os acréscimos das poropressões durante o enchimento e sua queda após o rebaixamento, etc.). No modelo de Mohr Coulomb esta distribuição não é obtida, pois este faz uso de valores constantes do módulo de rigidez ou que variam simplesmente com a profundidade.
9. Durante a etapa de construção da barragem de terra zonada, os materiais atingem somente 55 a 60% da sua resistência máxima. No entanto, durante o enchimento e ainda mais no rebaixamento rápido, a exceção da zona da jusante, a resistência ao cisalhamento fica mais próxima da máxima.

10. Em todo o maciço (montante, jusante e núcleo), as trajetórias das tensões efetivas durante a construção se apresentam similares e correspondentes a um carregamento axial.
11. No enchimento e no rebaixamento estas trajetórias são similares unicamente à montante e no núcleo. No enchimento, elas mudam de direção com um alívio das tensões efetivas p' e q' produzido pelo efeito de Arquimedes, correspondentes ao descarregamento axial; e no rebaixamento, experimentam o acréscimo da tensão efetiva média e tensão desviadora. Na jusante, o comportamento é diferente devido ao contraste de permeabilidade existente entre esta e o núcleo. O enchimento produz um carregamento hidrostático e o rebaixamento um descarregamento hidrostático.
12. A partir das análises de estabilidade estática para cada uma das etapas de vida da barragem, determinou-se que a superfície de ruptura é aproximadamente circular e passa pelo maciço e fundação. Foi possível confirmar que a barragem estudada não apresenta perigo de instabilidade.

6.2.

Análise dinâmica

O modelo HSsmall, - Hardening Soil Small Model, orientado para simulações dinâmicas não forneceu os resultados esperados. Foi utilizado alternativamente o modelo Mohr Coulomb para análise acoplada da barragem de Recreta submetida ao carregamento sísmico após a construção. Este modelo foi capaz de reproduzir a distribuição do estado de tensões de forma muito similar ao obtido com o modelo HS- Hardening Soil Model, empregado para a análise estática.

Dentre as principais conclusões do estudo dinâmico destacam-se as seguintes:

13. Em uma análise dinâmica o tempo de processamento é uma grande limitante a obtenção dos resultados, o tratamento do sinal sísmica é um dos parâmetros chave para não acrescentar o tempo de cálculo.
14. Um passo prévio e inevitável na obtenção da resposta dinâmica de uma estrutura é a calibração dos parâmetros de amortecimento do modelo, de não fazer esta verificação a probabilidade de obter resultados muito variáveis e de pouca confiabilidade, cresce infinitamente.

15. O emprego de um modelo não linear implementado no programa SHAKE 2000, continua sendo uma ferramenta poderosa para validar os resultados de outros modelos elasto-plásticos como Mohr Coulomb, HSsmall model.
16. No presente estudo as respostas tempo-história das acelerações evidenciaram atenuação das ondas à medida que se propagam através da fundação e aterro, atingindo o valor máximo 0,6g com períodos mais longos do que da base. Também se observou menor influência dos contornos na resposta de um ponto mais afastado dos mesmos comparando com outro muito próximo.

6.3.

Sugestões para pesquisas futuras

17. Como mencionado na presente pesquisa não foi possível obter os resultados esperados na análise dinâmica usando o modelo HSsmall, portanto se sugere dar continuidade as tentativas iniciadas nesta dissertação para uso deste modelo em aplicações dinâmicas determinando suas limitações e principais aplicações.
18. Além dos resultados apresentados da análise dinâmica após a construção, acrescenta os para fluxo e rebaixamento.