

6

Conclusões e Sugestões

O objetivo principal desta dissertação de mestrado foi o desenvolvimento de um programa de computador, escrito em linguagem Fortran, baseado no método dos elementos finitos, para análise de problemas de fluxo tridimensional, em regime transiente ou permanente, na condição saturada ou não-saturada. O programa, denominado GEOFLUX3D, foi elaborado com base em uma versão preliminar GEOFLUX desenvolvido por Machado (2000) para simulações de fluxo no plano.

Varias modificações foram feitas na versão original para solucionar o problema proposto, iniciando-se pela implementação de elementos triangulares TRIA3 e tetraédricos TETR4 para facilitar a criação de malhas em domínios com contornos irregulares. A vantagem destes elementos é que não necessitam de uma quadratura numérica na avaliação das matrizes e vetores do método dos elementos finitos, diminuindo portanto o tempo de processamento, embora requeiram uma discretização mais refinada tendo em vista que as funções de interpolação são lineares em relação à variável primária (carga de pressão).

A principal dificuldade na implementação foi a elaboração de um algoritmo que pudesse armazenar os elementos não nulos da matriz de coeficientes e que, simultaneamente, solucionasse o sistema de equações geradas pelo MEF. Esta dificuldade foi ultrapassada com o estabelecimento de duas matrizes para armazenamento das posições dos coeficientes matriciais não nulos e de seus respectivos valores, o que permitiu a utilização do método de gradiente bi-conjugado para resolver o sistema de equações sob velocidade de processamento bastante rápida.

Implementou-se também o método de Picard Modificado para a solução da não-linearidade na equação de Richards, com a diagonalização da matriz $\bar{F}$ (equação 2.36) para permitir a obtenção de respostas de forma mais eficiente, como indicam os excelentes resultados computados nos exemplos de validação (capítulo 4).

Análises tridimensionais de fluxo transiente / permanente considerando regiões de fluxo saturado e não-saturado foram feitas com o objetivo de ressaltar os efeitos da geometria 3D nos resultados de um problema hidráulico. No caso específico desta dissertação, entenda-se nos resultados de fluxo através de barragens de terra projetadas para vales estreitos em forma de V, onde ainda hoje prevalecem análises 2D considerando-se os resultados obtidos com uma seção transversal típica da barragem em estudo.

Foram feitos dois exemplos de aplicação com o programa computacional GEOFLUX3D. No primeiro, analisou-se as condições de fluxo transiente através da barragem de enrocamento Gouhou, China. A evolução no tempo dos contornos de poropressão indicaram que os gradientes próximos às ombreiras são mais elevados do que aqueles observados na parte central da barragem e, em decorrência, a frente de umedecimento avança mais rapidamente junto às ombreiras, constituindo estas regiões em zonas de alto risco de erosão interna quando a água flui para dentro do corpo da barragem. Os resultados computados pelo GEOFLUX3D foram comparados por aqueles obtidos por Chen e Zhang (2006), apresentando boa concordância entre si.

O segundo exemplo de aplicação se refere à barragem de terra Macusani, Peru, analisada sob 3 diferentes situações: na primeira delas, simulou-se o primeiro enchimento do reservatório considerando-se um dreno no pé de jusante cujas propriedades foram verificadas anteriormente através da análise do problema de fluxo através de um modelo 2D. Destas comparações concluiu-se que em regime de fluxo transiente a frente de umedecimento apresenta avanços mais rápidos nas simulações 3D e que em condições de fluxo permanente 3D a posição da superfície freática situou-se acima da posição do dreno.

Estas diferenças observadas nos resultados de regime permanente também foram apontadas por Huertas (2006), e são mais significativas ainda quando se compara com os cálculos de simulações 2D, onde se conclui que o dreno funciona aparentemente de modo adequado e a posição da superfície freática é delimitada no interior e por toda a extensão do dreno.

Na segunda situação envolvendo a barragem Macusani, considerou-se o mesmo problema de primeiro enchimento do reservatório porém considerando-se um material de dreno dez vezes mais permeável do que aquele obtido no projeto inicial da barragem. Os resultados numéricos mostraram que, apesar da influência

dos efeitos tridimensionais no fluxo, o dreno agora operava de forma satisfatória, sem riscos associados à elevação da posição da superfície freática, como evidenciava a análise numérica da situação anterior.

Finalmente, na terceira situação, investigou-se os efeitos do rebaixamento rápido do reservatório, observando-se que as regiões junto ao talude de montante conservam-se na condição saturada por um tempo considerável, justificando-se os cuidados nas análises de estabilidade de taludes de montante sujeitos a casos de rebaixamento do reservatório.

Foram também comparadas as posições das linhas freáticas em regime de fluxo permanente obtidas nesta dissertação através do programa GEOFLUX3D e por Huertas (2006) empregando o software comercial Seep3D v.1.15. Conclui-se que devido às condições de contorno variáveis prescritas no talude de jusante pelo programa GEOFLUX3D, seus resultados aparentemente devem estar mais próximos da realidade.

Como sugestões para trabalhos futuros neta área, recomenda-se:

- ✓ Consideração da existência de fraturas na fundação de barragens e verificação numérica dos seus efeitos no problema de fluxo;
- ✓ Implementar o acoplamento hidráulico-mecânico para análise de problemas de fluxo transiente;
- ✓ Verificar a influência das zonas de transição no comportamento do resultados computados no caso de barragens de terra zoneadas ou de enrocamento.