

5 Implementações Adicionais

5.1. Implementação do Coeficiente de Armazenamento Específico do Solo

Para as simulações de rebaixamento de poços em aquíferos confinados e não confinados, foi implementado ao programa a adição do termo de armazenamento específico que leva em conta o efeito da compressibilidade do solo e do fluido (S_s). Este termo aparece quando se reescreve a parte do armazenamento da equação de Richards, assim a dedução da equação de fluxo fica:

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} [K(K_{ij}^A \frac{\partial \psi}{\partial x_j} + K_{iz}^A)] - S_v = \xi S_{sat} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \xi \rho \frac{\partial S_{sat}}{\partial t} + \rho S_{sat} \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (5.1)$$

onde S_{sat} é o grau de saturação e ξ é a porosidade do solo. A compressibilidade do esqueleto é definida como:

$$C_s = -\frac{\partial V}{\partial \sigma}, \quad (5.2)$$

Admitindo que os grãos sólidos são incompressíveis, a variação é devida somente ao volume de vazios:

$$C_s = -\frac{\partial V_v}{\partial \sigma} = -\frac{\partial \xi}{\partial \sigma}, \quad (5.3)$$

Pelo princípio das tensões efetivas tem-se que:

$$\sigma' = \sigma - \bar{u} \quad (5.4)$$

$$\bar{u} = \rho g \psi \quad (5.5)$$

onde C_s é a compressibilidade dos grãos sólidos do solo, V é o volume do solo, V_v é o volume de vazios do solo, σ' é a tensão efetiva e \bar{u} é a pressão neutra.

Considerando a tensão total uma constante no processo de fluxo, tem-se:

$$C_s = -\frac{\partial \xi}{\partial \sigma'} = -\frac{\partial \xi}{-\partial(\rho g \psi)} = \frac{\partial \xi}{\rho g \partial \psi} \quad (5.6)$$

A compressibilidade do fluido é definida como:

$$C_w = -\frac{\frac{\partial \rho}{\rho}}{\frac{\partial u}{\rho g}} \quad (5.7)$$

$$C_w = -\frac{\partial \rho}{\rho^2 g \partial \psi} \quad (5.8)$$

Sendo assim, obtém-se as seguintes relações:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = C_s \rho g \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (5.9)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = C_w \rho^2 g \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (5.10)$$

Substituindo a equação 5.9 e 5.10 em 5.1 tem-se:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[K (K_{ij}^A \frac{\partial \psi}{\partial x_j} + K_{iz}^A) \right] - S_v = \xi \frac{\partial S_{sat}}{\partial t} + S_s S_{sat} \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (5.11)$$

Sendo o coeficiente de armazenamento específico dado por:

$$S_s = \rho g(C_s + \xi C_w) \quad (5.12)$$

Este coeficiente representa o efeito físico dado pelo volume de água expulso de um volume unitário quando este é submetido a uma variação unitária de carga total. Sabendo que:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{1}{\xi} \frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{\theta}{\xi^2} \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (5.13)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [K(K_{ij}^A \frac{\partial \psi}{\partial x_j} + K_{iz}^A)] - S_v = \frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{\theta}{\xi} \frac{\partial \xi}{\partial t} + S_s S_{sat} \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (5.14)$$

Admitindo que não ocorrem variações volumétricas durante o processo de fluxo, tem-se:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = 0. \quad (5.15)$$

Definindo o coeficiente de retenção específica como sendo:

$$C(\psi) = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (5.16)$$

Reescreve-se a equação 5.14 como sendo:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [K(K_{ij}^A \frac{\partial \psi}{\partial x_j} + K_{iz}^A)] - S_v = \left[C(\psi) + \frac{\theta(\psi) S_s}{\xi} \right] \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (5.17)$$

Para simulações de poços em aquíferos não confinados a curva que define o rebaixamento no tempo é composta por três fases. A primeira fase é representada pelas variações envolvendo S_s . A segunda fase representa um período de drenagem, em que o rebaixamento é constante no tempo. A terceira fase apresenta as variações finais do rebaixamento, onde o termo do

armazenamento efetivo (S_y), onde seu efeito está incluso no coeficiente de retenção específica ($C(\psi)$), regula estas variações.

5.2. Implementação de Condição de Contorno para Carga Hidrostática Variável

Devido à necessidade de controlar as variações da carga hidrostática no tempo aplicada no contorno do modelo, foi criado o bloco de entrada “LevelGroundWater”, dentro do arquivo de entrada “SELECTOR.IN”, sendo necessário informar o histórico das cotas no nível de água e seus respectivos tempos.

Assim, é possível simular as variações de pressões nos contornos como casos de enchimento e rebaixamento do nível de água de uma barragem, tanto a jusante quanto a montante. Outro caso seria simular as variações do nível do mar em um talude de praia. O objetivo é simular e observar o tempo de resposta do solo e assim prever as possíveis regiões de instabilidade.

5.3. Leitura de dados da linha drenante

O programa desenvolvido é capaz de ler um sistema drenante, composto por drenos e poços, dispostos ao longo do modelo 2D ou 3D. Para isso, foi criado o bloco de entrada “DrainsInformation”, dentro do arquivo de entrada “SELECTOR.IN” fornece-se informações necessárias para a geração da linha drenante, como:

- a) Número de linhas drenantes (ND);
- b) As coordenadas dos dois pontos que definem esta linha, sendo o primeiro localizado na superfície do modelo (X_i, Y_i, Z_i);
- c) O comprimento não drenante, ou seja, o trecho liso do revestimento que não interage diretamente com a matriz do solo (lu);
- d) O valor da vazão imposta, para o caso de poços (Q);

- e) O valor da carga de pressão mínima para ativar o bombeamento dos poços, ou mesmo para desativá-los, caso o rebaixamento seja maior que o esperado e atinja o limite prescrito de carga para o bom funcionamento das bombas (mca);
- f) O identificador do tipo de elemento drenante, sendo 0 para drenos subhorizontais e 1 para poços (KD).
- g) O valor para o tempo de aplicação da cada linha drenante, pois o princípio é que drenos e poços podem ser instalados não necessariamente ao mesmo tempo ($TempD(i)$);
- h) O valor do diâmetro da tela e do revestimento. Assim, pode-se separar o efeito da condutividade sendo dada pelo diâmetro da tela e do armazenamento dado pelo diâmetro do revestimento ($Ds(i), Dc(i)$);
- i) Propriedades do fluido, tais como o peso específico, viscosidade dinâmica e o coeficiente de rugosidade de Manning (g_w, μ_D, η).

5.4. Leitura e Impressão de Dados

Para as análises 2D e 3D foi preciso criar as malhas dos modelos em programas geradores de malha para depois estas serem interpretadas pelo programa de análise e, em seguida, serem visualizadas. Esta comunicação de dados é feita por sub-rotinas implementadas no programa. Desta forma o programa lê malhas 2D geradas pelo Mtool e 3D pelo gerador MeshBox3D. O programa ainda lê malhas geradas pelo modelador Gocad 2.0.5, porém seu uso foi descartado devido a não uniformidade das malhas geradas.

O Mtool utiliza o formato de arquivo neutro (Neutral File), onde é possível obter as informações da malha de maneira simples, devido à facilidade de composição e interpretação dos dados. Este formato foi adotado para todas as análises, uma vez que os pós-processadores (Mtool e POS-3D) importam os arquivos *neutral file* (*.nf).

5.5. Gerador MeshBox3D

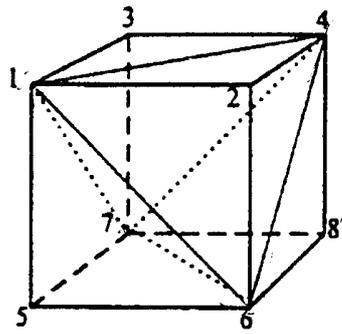
Devido a não uniformidade das malhas geradas pelo modelador Gocad 2.0.5, optou-se por implementar um gerador de malha, que pudesse gerar modelos para as validações.

Para a entrada de dados, foi criado o bloco de entrada “MeshBox3D Generation”, dentro do arquivo de entrada “GENE3.IN”, sendo necessário informar o número de nós em cada direção (x, y, z) , as dimensões dos segmentos gerados e os atributos.

Os atributos são a condição inicial e de contorno da malha gerada. Na condição de contorno deve-se identificar as faces do paralelepípedo e aplicar o código correspondente à condição de contorno e o número da face, caso haja mais uma face com o mesmo código.

O gerador cria malhas para modelos tipo paralelepípedo, podendo ser discretizado algumas regiões. O limite do tamanho do modelo esta associada com a capacidade da máquina em armazenar os dados para o processamento, sendo a memória requerida função, basicamente, do número de nós e de elementos da malha.

O algoritmo implantado divide o domínio conhecido, em elementos hexaedros e em seguida, subdivide cada hexaedro em 5 tetraedros segundo a disposição da incidência dos nós mostrado na figura 23.



Element: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Subdivision Code: 1

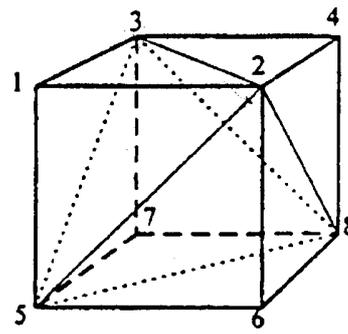
Subelements: 1, 4, 7, 3

1, 6, 4, 2

5, 6, 7, 1

7, 6, 8, 4

1, 6, 7, 4



Element: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Subdivision Code: 2

Subelements: 5, 2, 3, 1

5, 6, 8, 2

5, 8, 7, 3

5, 2, 8, 3

2, 8, 3, 4

Figura 23-Disposição dos subelementos tetraedros nos elementos hexaedros
(Simunek e outros, 1995).