

Tabela 2-Valores de $W(u_A, \lambda)$ para o aquífero não confinado (Fetter, 1994).

1/u _a	$\lambda = .001$	$\lambda = .01$	$\lambda = .06$	$\lambda = .2$	$\lambda = .6$	$\lambda = 1.0$	$\lambda = 2.0$	$\lambda = 4.0$	$\lambda = 6.0$
1.00E-01	2.48E-02	2.41E-02	2.30E-02	2.14E-02	1.88E-02	1.70E-02	1.38E-02	9.33E-03	6.39E-03
2.00E-01	1.45E-01	1.40E-01	1.31E-01	1.19E-01	9.88E-02	8.49E-02	6.03E-02	3.17E-02	1.74E-02
3.50E-01	3.58E-01	3.45E-01	3.18E-01	2.79E-01	2.17E-01	1.75E-01	1.07E-01	4.45E-02	2.10E-02
6.00E-01	6.62E-01	6.33E-01	5.70E-01	4.83E-01	3.43E-01	2.56E-01	1.33E-01	4.76E-02	2.14E-02
1.00E+00	1.02E+00	9.63E-01	8.49E-01	6.88E-01	4.38E-01	3.00E-01	1.40E-01	4.78E-02	2.15E-02
2.00E+00	1.57E+00	1.46E+00	1.23E+00	9.18E-01	4.97E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
3.50E+00	2.05E+00	1.88E+00	1.51E+00	1.03E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
6.00E+00	2.52E+00	2.27E+00	1.73E+00	1.07E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
1.00E+01	2.97E+00	2.61E+00	1.85E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
2.00E+01	3.56E+00	3.00E+00	1.92E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
3.50E+01	4.01E+00	3.23E+00	1.93E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
6.00E+01	4.42E+00	3.37E+00	1.94E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
1.00E+02	4.77E+00	3.43E+00	1.94E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
2.00E+02	5.16E+00	3.45E+00	1.94E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
3.50E+02	5.40E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
6.00E+02	5.54E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
1.00E+03	5.59E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
2.00E+03	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02
3.50E+03	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.08E+00	5.07E-01	3.17E-01	1.41E-01	4.78E-02	2.15E-02

Tabela 3- Valores de $W(u_B, \lambda)$ para o aquífero não confinado (Fetter, 1994).

1/u _b	$\lambda = .001$	$\lambda = .01$	$\lambda = .06$	$\lambda = .2$	$\lambda = .6$	$\lambda = 1.0$	$\lambda = 2.0$	$\lambda = 4.0$	$\lambda = 6.0$
1.00E-04	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.08E-01	3.18E-01	1.42E-01	4.79E-02	2.15E-02
2.00E-04	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.08E-01	3.18E-01	1.42E-01	4.80E-02	2.16E-02
3.50E-04	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.08E-01	3.18E-01	1.42E-01	4.81E-02	2.17E-02
6.00E-04	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.08E-01	3.18E-01	1.42E-01	4.84E-02	2.19E-02
1.00E-03	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.08E-01	3.18E-01	1.42E-01	4.78E-02	2.21E-02
2.00E-03	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.09E-01	3.19E-01	1.43E-01	4.96E-02	2.28E-02
3.50E-03	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.10E-01	3.21E-01	1.45E-01	5.09E-02	2.39E-02
6.00E-03	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.12E-01	3.23E-01	1.47E-01	5.32E-02	2.57E-02
1.00E-02	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.16E-01	3.27E-01	1.52E-01	5.68E-02	2.86E-02
2.00E-02	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.09E+00	5.24E-01	3.37E-01	1.62E-01	6.61E-02	3.62E-02
3.50E-02	5.62E+00	3.46E+00	1.94E+00	1.10E+00	5.37E-01	3.50E-01	1.78E-01	8.06E-02	4.86E-02
6.00E-02	5.62E+00	3.46E+00	1.95E+00	1.11E+00	5.57E-01	3.74E-01	2.05E-01	1.06E-01	7.14E-02
1.00E-01	5.62E+00	3.46E+00	1.96E+00	1.13E+00	5.89E-01	4.12E-01	2.48E-01	1.49E-01	1.13E-01
2.00E-01	5.62E+00	3.46E+00	1.98E+00	1.18E+00	6.67E-01	5.06E-01	3.57E-01	2.66E-01	2.31E-01
3.50E-01	5.63E+00	3.47E+00	2.01E+00	1.24E+00	7.80E-01	6.42E-01	5.17E-01	4.45E-01	4.19E-01
6.00E-01	5.63E+00	3.49E+00	2.06E+00	1.35E+00	9.54E-01	8.50E-01	7.63E-01	7.18E-01	7.03E-01
1.00E+00	5.63E+00	3.51E+00	2.13E+00	1.50E+00	1.20E+00	1.13E+00	1.08E+00	1.06E+00	1.05E+00
2.00E+00	5.64E+00	3.56E+00	2.31E+00	1.85E+00	1.68E+00	1.65E+00	1.63E+00	1.63E+00	1.63E+00
3.50E+00	5.65E+00	3.63E+00	2.55E+00	2.23E+00	2.15E+00	2.14E+00	2.14E+00	2.14E+00	2.14E+00
6.00E+00	5.67E+00	3.74E+00	2.86E+00	2.68E+00	2.65E+00	2.65E+00	2.64E+00	2.64E+00	2.64E+00
1.00E+01	5.70E+00	3.90E+00	3.24E+00	3.15E+00	3.14E+00	3.14E+00	3.14E+00	3.14E+00	3.14E+00
2.00E+01	5.76E+00	4.22E+00	3.85E+00	3.82E+00	3.82E+00	3.82E+00	3.82E+00	3.82E+00	3.82E+00
3.50E+01	5.85E+00	4.58E+00	4.38E+00	4.37E+00	4.37E+00	4.37E+00	4.37E+00	4.37E+00	4.37E+00
6.00E+01	5.99E+00	5.00E+00	4.91E+00	4.91E+00	4.91E+00	4.91E+00	4.91E+00	4.91E+00	4.91E+00
1.00E+02	6.16E+00	5.46E+00	5.42E+00	5.42E+00	5.42E+00	5.42E+00	5.42E+00	5.42E+00	5.42E+00

As figuras 39 e 40 apresentam as comparações obtidas da solução de Neumann (1975) e dos valores numéricos da implementação. Na figura 39 tem-se uma série de curvas de rebaixamento, referentes a uma distância aproximada do poço de $r \cong 10m$, representando as variações em relação ao tamanho do elemento interceptado nos valores de 0.1m, 0.5m e 1m, sendo, ainda, representado o caso do poço discreto. A curva da solução de Neumann que se ajustou às séries de resultados, apresentados na figura 39, é aquela que tem $\lambda = 2.0$, sendo $\lambda = \left(\frac{r}{b}\right)^2$.

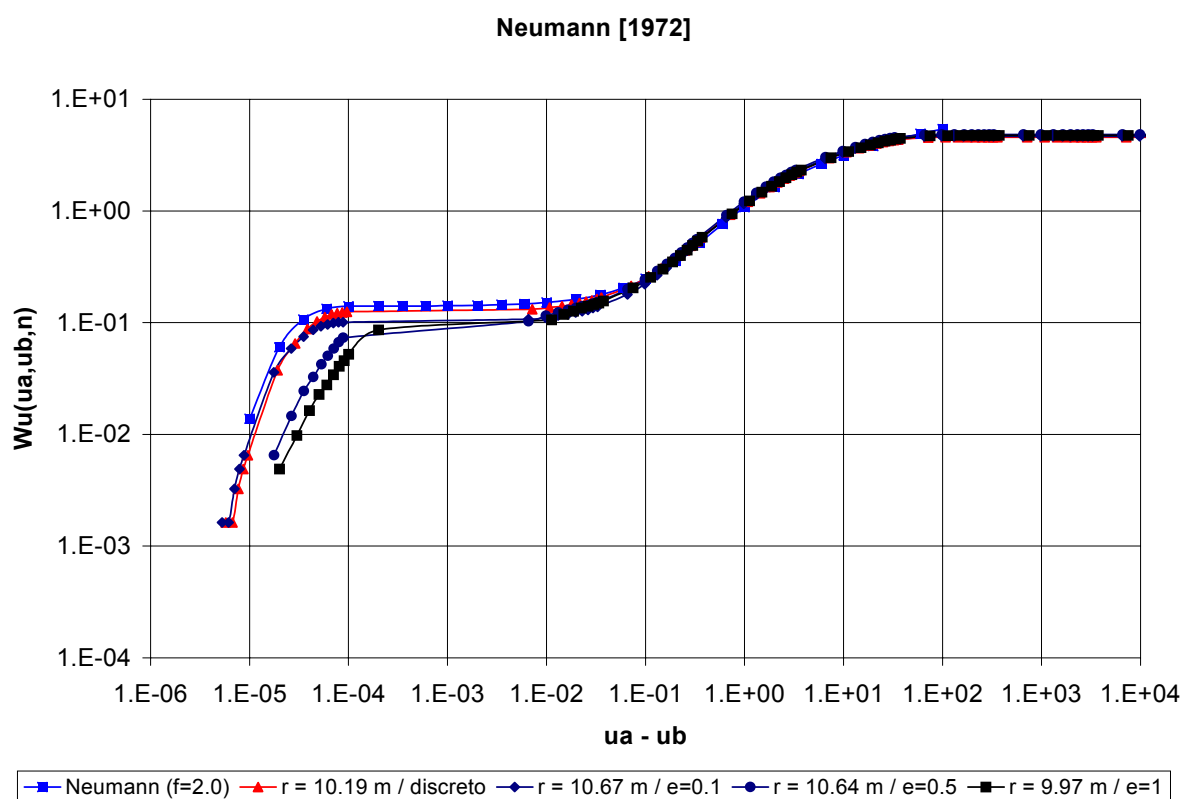


Figura 39-Curvas comparativas dos resultados numéricos obtidos com a solução de Neumann (1975), a uma distância $r \cong 10m$ do poço.

Na figura 40, tem-se as mesmas condições do modelo e os resultados se referem a uma distância $r \cong 15m$. A curva da solução de Neumann que se ajustou às séries de resultados, é aquela que tem $\lambda = 5.0$.

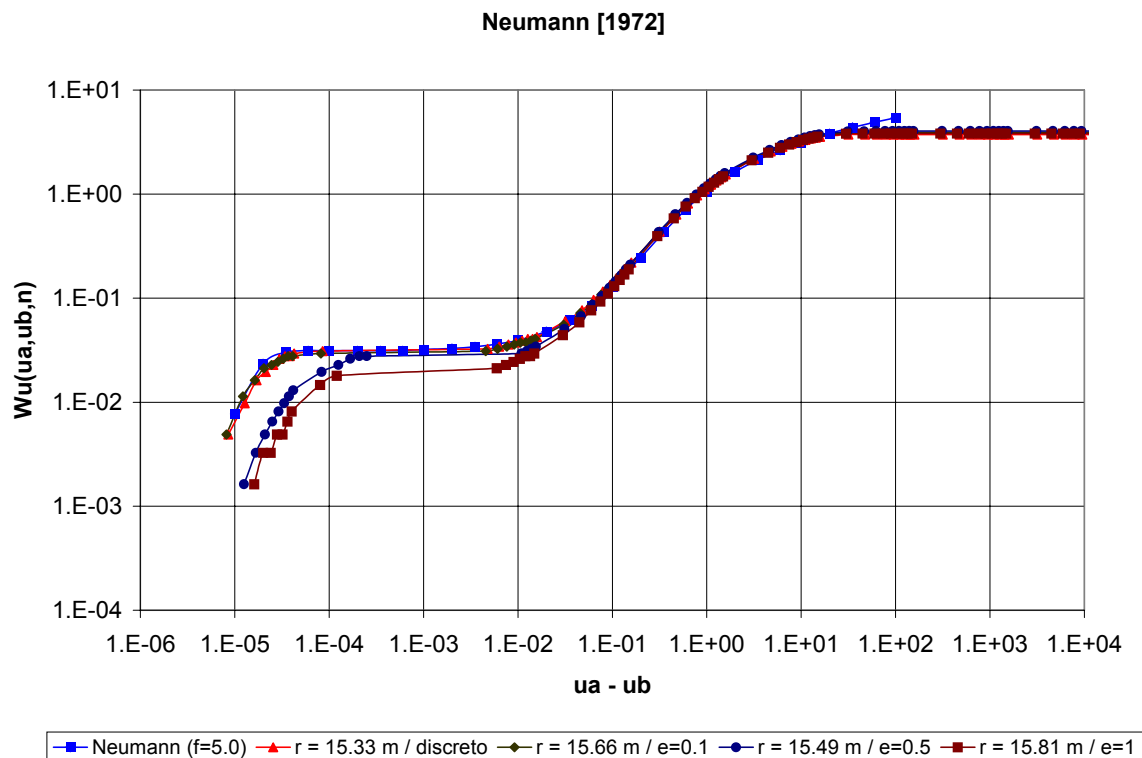


Figura 40-Curvas comparativas dos resultados numéricos obtidos com a solução de Neumann (1975), a uma distância $r \cong 15m$ do poço.

Observa-se um bom ajuste da curva que apresenta o menor elemento, ou seja, quanto mais refinada a malha, melhor é o resultado. Porém, o erro existe nos períodos iniciais do rebaixamento, sendo minimizado para tempos maiores, de acordo com a solução numérica de Neumann (1975).

As figuras 41 e 42 mostram a aplicação do algoritmo em um grupo de oito poços.

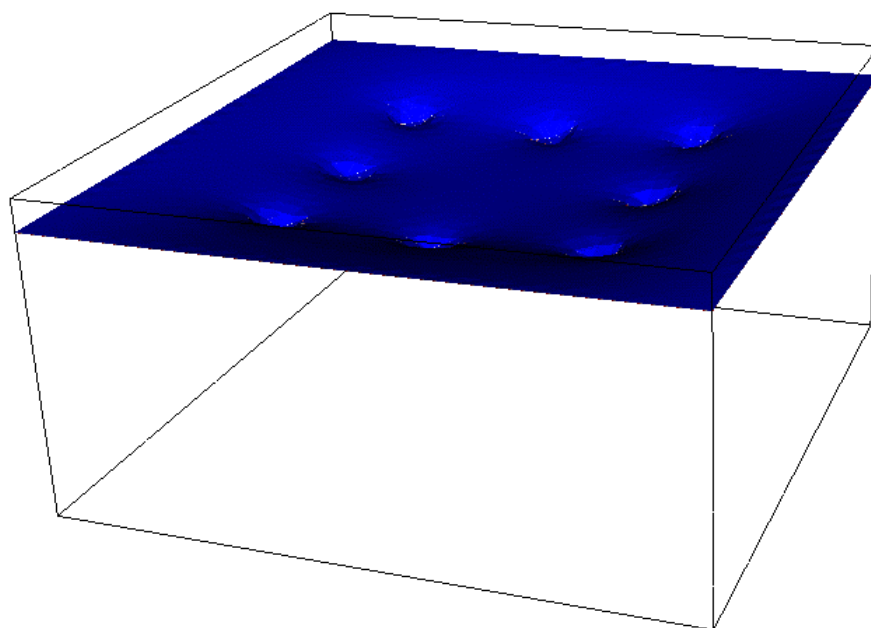


Figura 41-Visualização do rebaixamento da superfície freática.

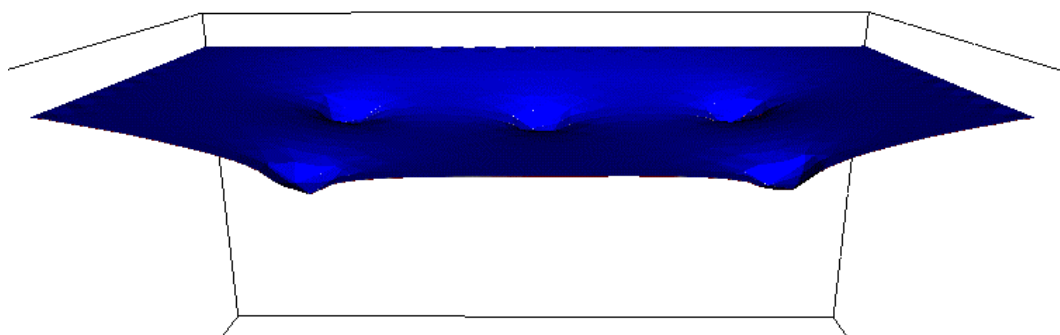


Figura 42-Visualização em corte do rebaixamento da superfície freática.

6.2. Elemento de dreno subhorizontal

Na pesquisa bibliográfica efetuada não foi encontrada uma solução analítica para o caso de drenos subhorizontais, nisto procurou-se aqui propor uma metodologia de cálculo considerando as propriedades geométricas e hidráulicas de um elemento de dreno, descritos nos itens 4.53 e 4.54.

O estudo desenvolvido por Kenney et al (1977) apresenta algumas considerações iniciais para um pré-dimensionamento como a primeira estimativa do número, comprimento e espaçamento dos drenos relacionados com o acréscimo do fator de segurança. Porém seus modelos não possuem informação quanto aos parâmetros não saturados para uma possível comparação.

O modelo utilizado para as análises possui dimensões de 10m x 10m x 5m, em x, y e z respectivamente. As condições de contorno aplicadas às malhas é carga hidrostática constante em uma das faces ($x = 0$.) e condição de face de percolação, segundo Simunek et al (1994), na face oposta ($x = 10$) (figura 43).

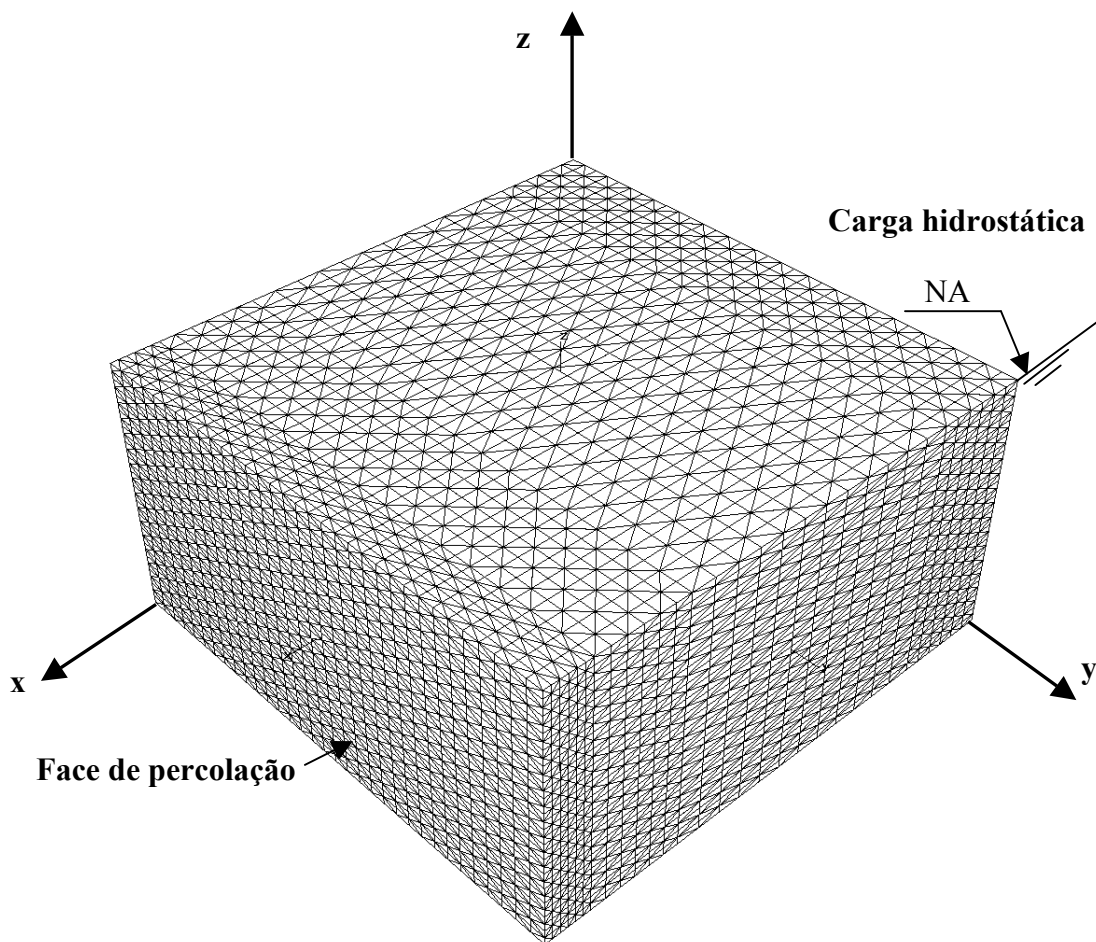


Figura 43-Malha tridimensional para a análise do dreno.

O dreno subhorizontal foi aplicado com diâmetros de 1", 1^{1/4}", 1^{1/2}", 1^{3/4}", 2".

O modelo apresenta uma região não saturada do solo, sendo necessário determinar os parâmetros não saturados do mesmo. A característica do solo empregada está mostrada na tabela 4.

Tabela 4-Parâmetros do solo não saturado de acordo com o modelo de van Genuchten, para o caso do dreno subhorizontal (Simunek e outros, 1994)

θ_r	θ_s	K_s	n	α
0.02	0.3	0.6	1.964	0.41

Os parâmetros foram obtidos dos exemplos do manual do usuário do programa SWMS (Simunek, 1994), para o solo tipo arenoso.

A figura 44 e 45 mostra as isopressões de um modelo em corte e em perspectiva, respectivamente, sem dreno subhorizontal, sendo o limite inferior das isopressões igual à superfície freática.

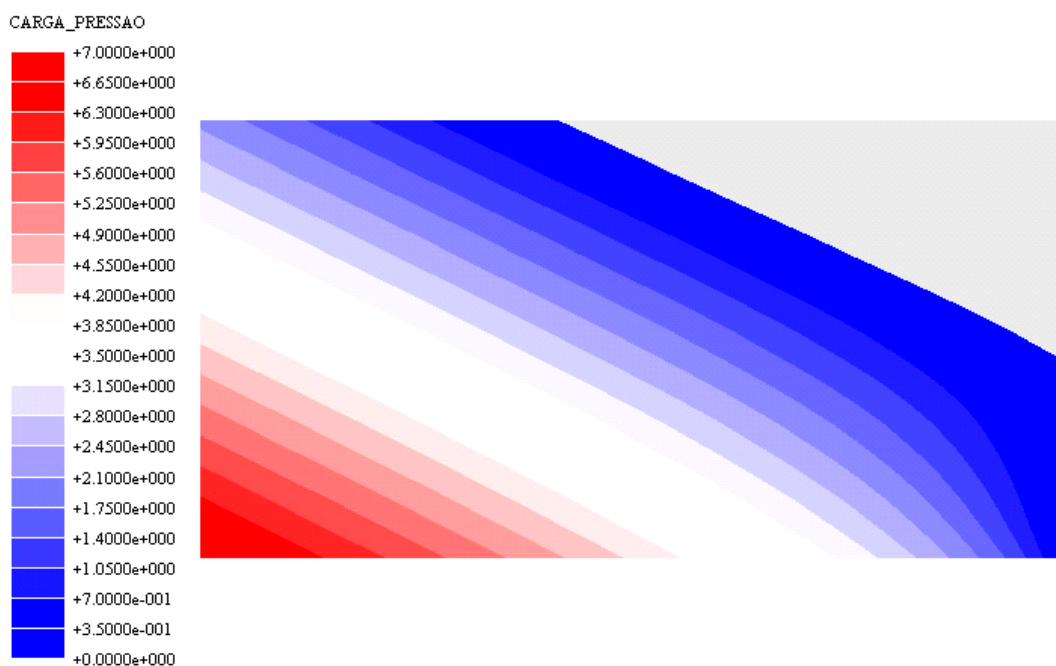


Figura 44-Isopressão da condição inicial aplicada ao modelo.

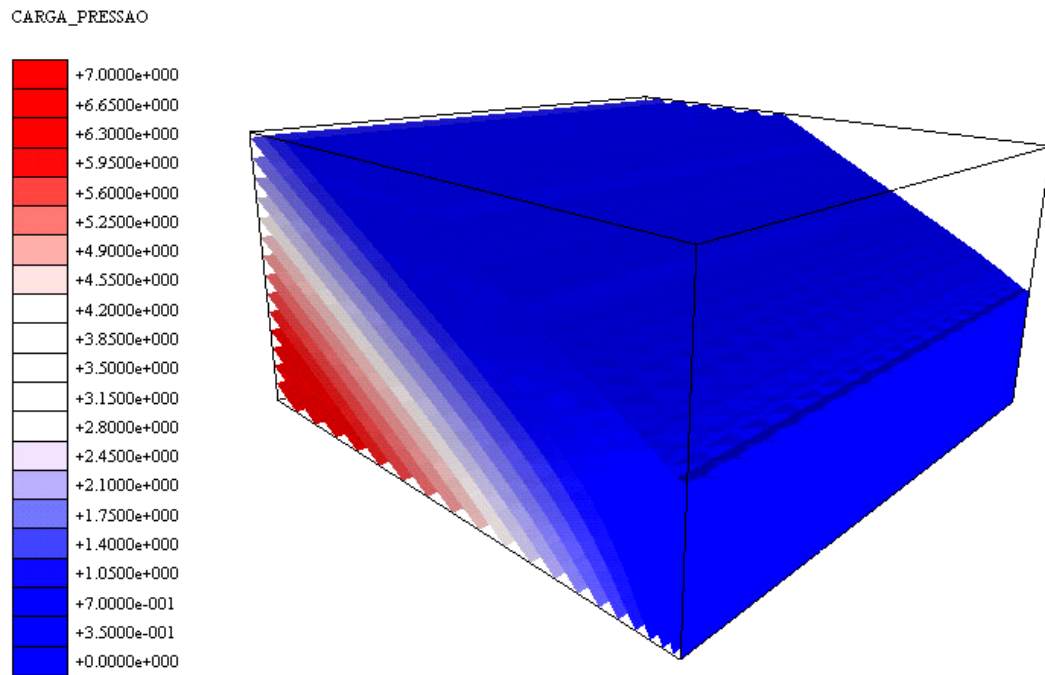


Figura 45-Vista geral das isopressões da condição inicial aplicada ao modelo.

A seguir são apresentadas as figuras das simulações em corte e em perspectiva dos drenos subhorizontais com diâmetros de 1", 1^{1/4}", 1^{1/2}", 1^{3/4}", 2" e inclinação de 0.05%, aplicado na metade da distância em x.

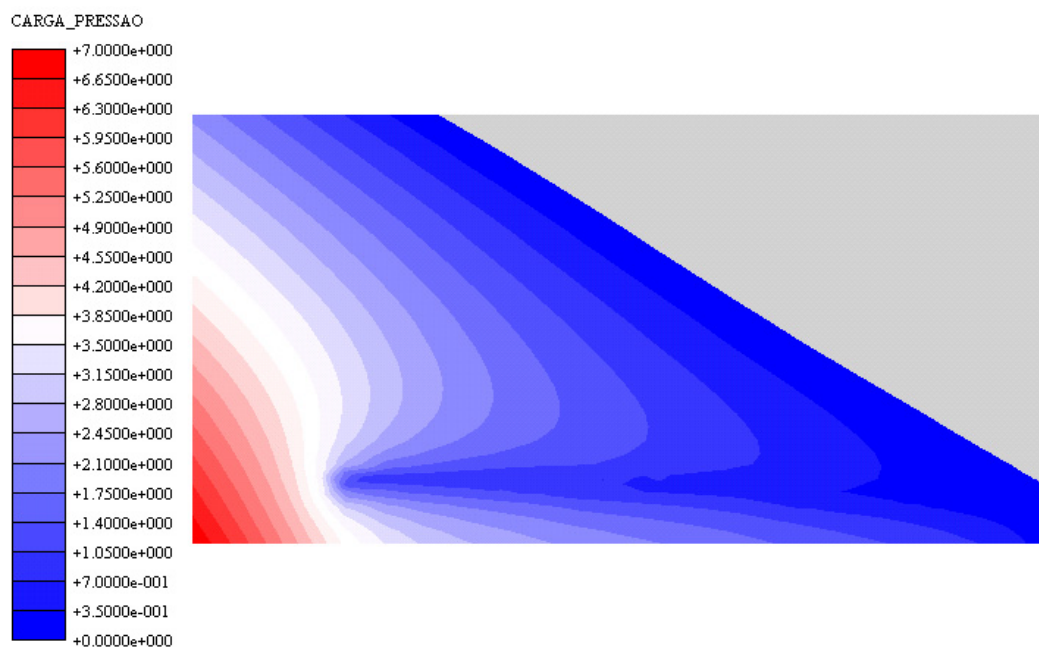


Figura 46-Corte longitudinal – Dreno $\phi = 1''$.

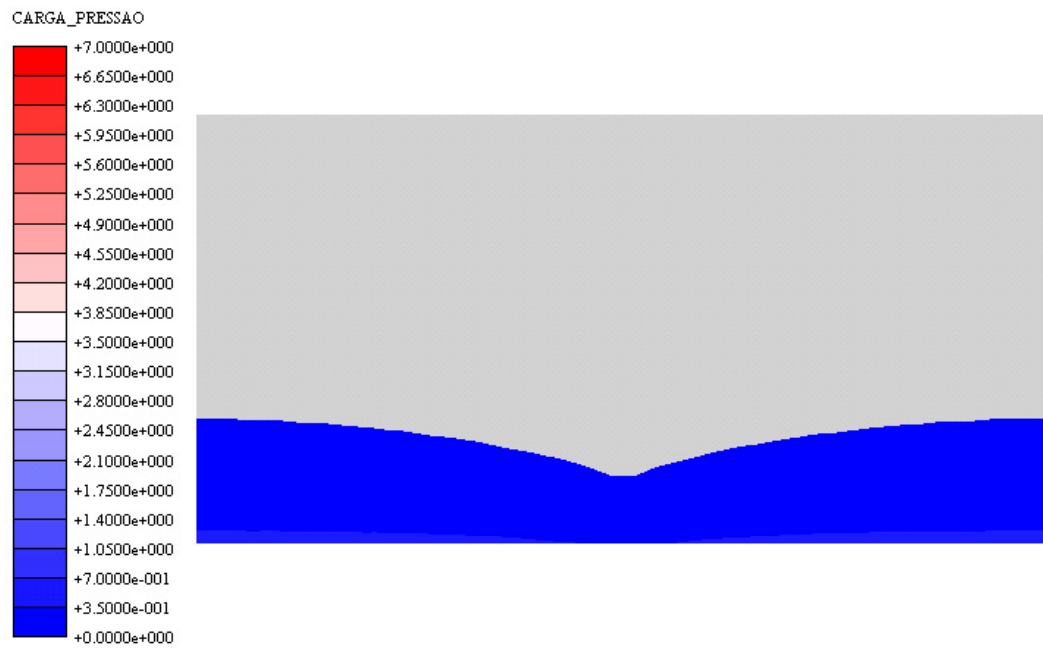


Figura 47- Corte transversal na saída do dreno – Dreno $\phi = 1''$.

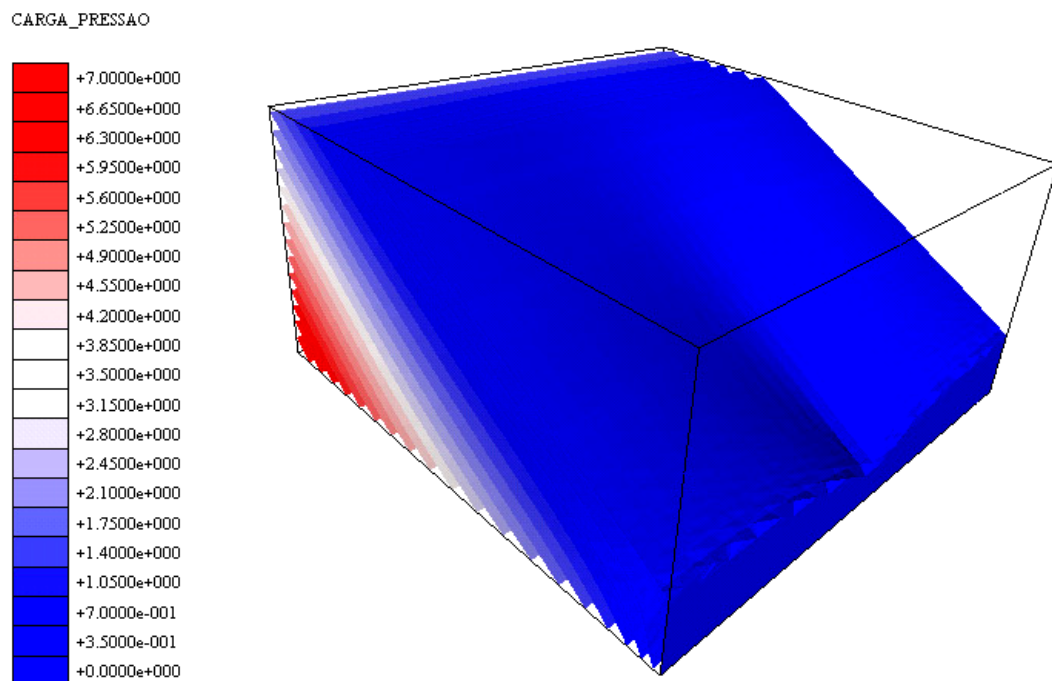


Figura 48-Vista Geral – visualização da superfície freática – Dreno $\phi = 1''$.

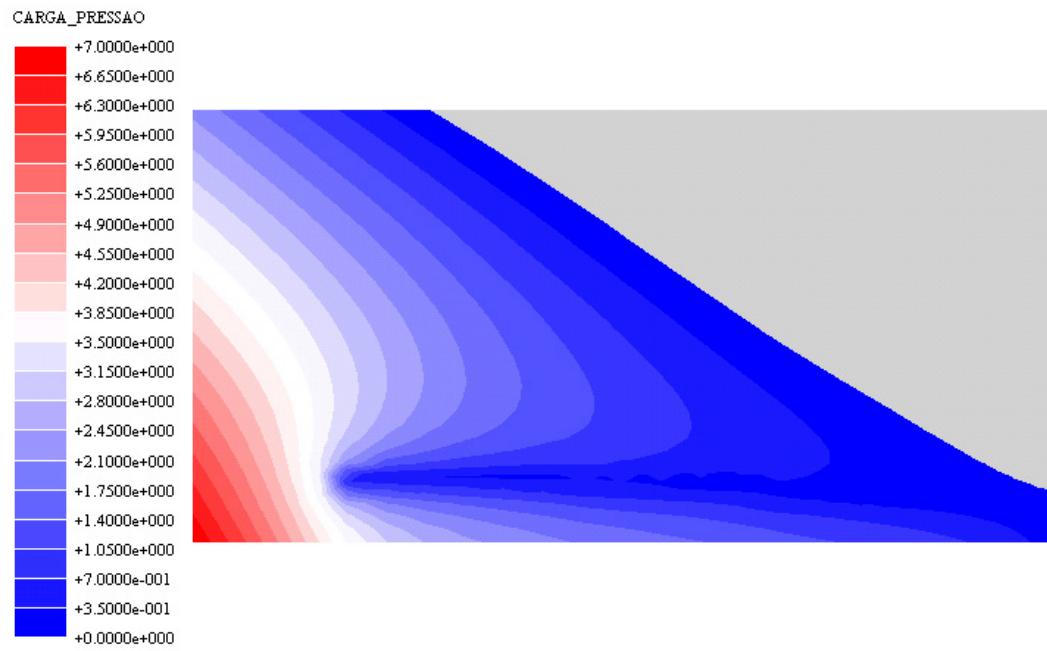


Figura 49-Corte longitudinal – Dreno $\phi = 1\frac{1}{4}''$.

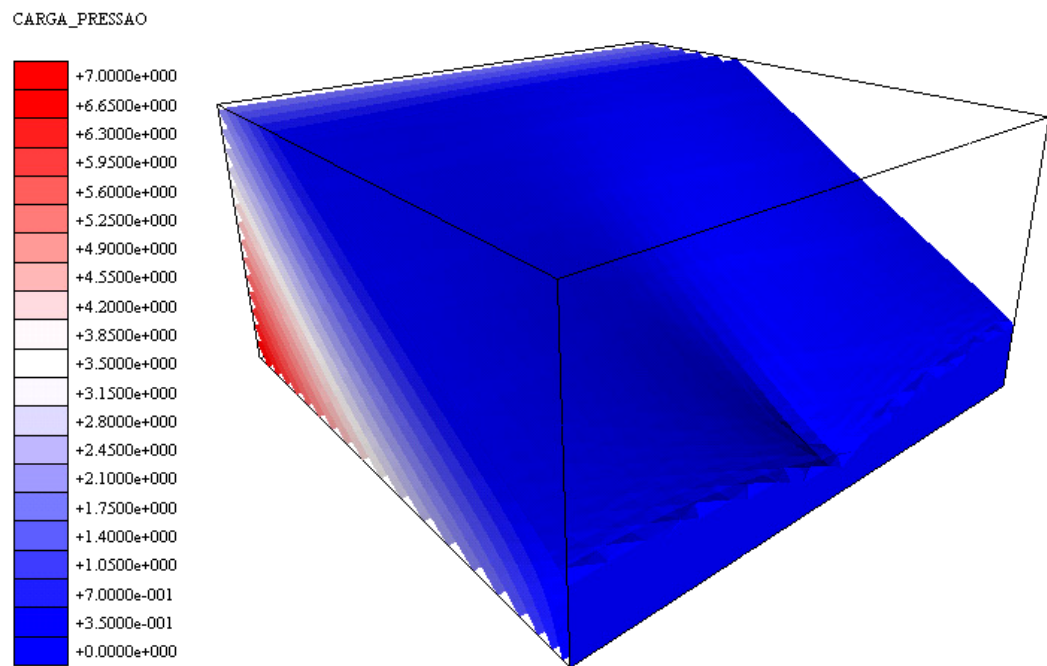


Figura 50-Vista Geral – visualização da superfície freática – Dreno $\phi = 1\frac{1}{4}''$.