

## Capítulo 8

### Alteamento do lençol freático pela equação de Hantush

## 8. Alteamento do lençol freático pela equação de Hantush

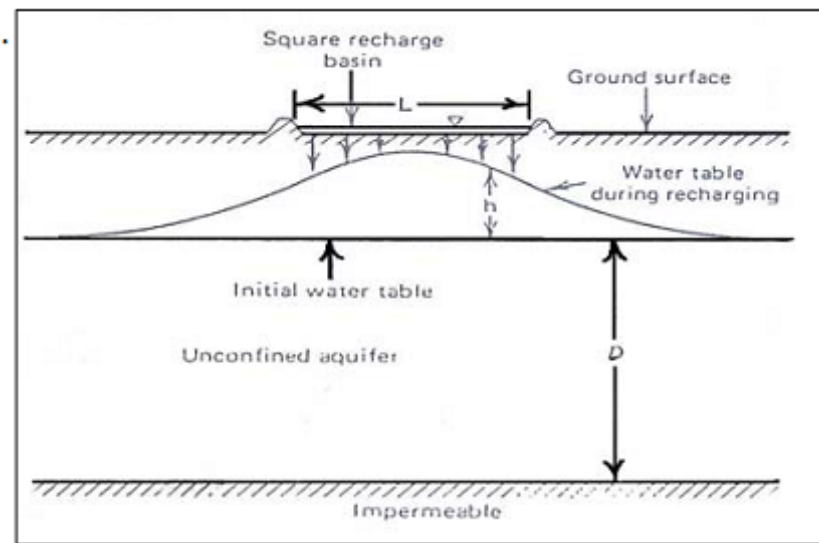
### 8.1 Introdução

O objetivo é calcular o alteamento do lençol freático quando fazemos uma infiltração

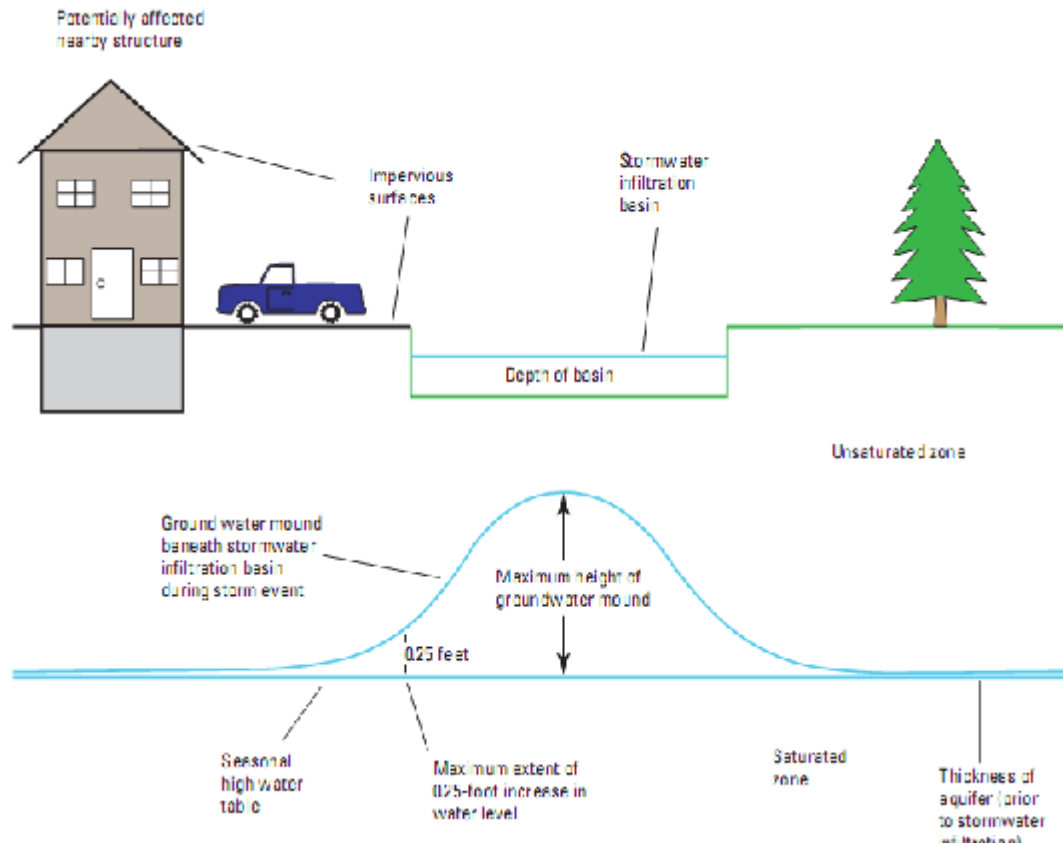
### 8.2 Alteamento do lençol freático pela Equação de *Hantush*

Existe um lençol freático que tem altura “ $b$ ”, porosidade efetiva  $S_y$  e condutividade hidráulica  $K$ . Observar que a condutividade hidráulica  $K$  do aquífero saturado pode ser diferente daquela da zona de aeração conforme Figura (8.1) e (8.2).

Queremos saber que com a infiltração da água no lençol freático como o mesmo sobe e saber se isto não vai ocasionar problema do escoamento devido a necessidade de se manter sempre no mínimo 1,20m do lençol freático até o fundo da trincheira de exfiltração, sendo isto importante



**Figura 8.1** Alteamento do lençol freático devido a recarga  
**Fonte: Todd, 1990**



**Figura 8.2- Esquema do alçamento do lençol freático**  
 Fonte: USGS, 2010

O parâmetro “v” será:

$$v = Kx b / S_y$$

$$b_1 = 0,5 x ( h_i + h(t) )$$

Sendo:

v = parâmetro (m<sup>2</sup>/dia)

b<sub>1</sub> = espessura do lençol freático no tempo t (m)

S<sub>y</sub> = porosidade efetiva (adimensional)

h<sub>i</sub> = altura inicial da espessura do lençol freático (m)

h(t) = altura no tempo t (m)

Hantush, 1967 in Chin, 2000 obteve a seguinte equação:

$$h_m^2(t) = h_i^2 + ( 2N x v x t / K ) x S^* ( W / ( 8 v t )^{0,5} , L / ( 8 v t )^{0,5} )$$

Sendo:

h<sub>m</sub> = é a máxima altura do lençol freático no tempo t em relação a base (m)

h<sub>i</sub> = espessura do lençol freático

N = taxa de recarga (m/dia)

t = tempo (horas)

K = condutividade hidráulica do aquífero (m/dia)

W= largura da trincheira (m)  
 L= comprimento da trincheira (m)  
 v = parâmetro (m<sup>2</sup>/dia)

**Tabela 8.1- Valores de de  $\alpha$  e  $\beta$  conforme função de erro**

$\frac{v}{L^2}$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62
0,02	0,0021	0,0073	0,0101	0,0125	0,0146	0,0181	0,0216	0,0243	0,0267	0,0288	0,0306	0,0322	0,0337	0,0349	0,0361	0,0371	0,0380	0,0387
0,04	0,0073	0,0135	0,0188	0,0236	0,0278	0,0333	0,0416	0,0470	0,0518	0,0559	0,0596	0,0628	0,0657	0,0683	0,0705	0,0725	0,0743	0,0759
0,06	0,0101	0,0188	0,0266	0,0335	0,0398	0,0450	0,0602	0,0684	0,0754	0,0817	0,0871	0,0920	0,0965	0,1001	0,1035	0,1065	0,1091	0,1115
0,08	0,0125	0,0236	0,0335	0,0425	0,0508	0,0582	0,0776	0,0884	0,0978	0,1060	0,1133	0,1197	0,1254	0,1305	0,1350	0,1389	0,1425	0,1456
0,10	0,0146	0,0278	0,0398	0,0508	0,0608	0,0706	0,0929	0,1072	0,1188	0,1290	0,1381	0,1461	0,1532	0,1595	0,1650	0,1700	0,1744	0,1783
0,14	0,0181	0,0353	0,0509	0,0652	0,0780	0,0925	0,1232	0,1424	0,1573	0,1714	0,1839	0,1941	0,2048	0,2135	0,2212	0,2281	0,2343	0,2397
0,18	0,0216	0,0416	0,0582	0,0776	0,0939	0,1123	0,1490	0,1776	0,1916	0,2094	0,2251	0,2391	0,2515	0,2626	0,2724	0,2812	0,2890	0,2959
0,22	0,0243	0,0470	0,0654	0,0884	0,1072	0,1314	0,1716	0,1984	0,2222	0,2433	0,2621	0,2789	0,2938	0,3071	0,3189	0,3295	0,3389	0,3472
0,26	0,0267	0,0518	0,0754	0,0978	0,1188	0,1472	0,1916	0,2222	0,2490	0,2737	0,2954	0,3147	0,3320	0,3474	0,3612	0,3735	0,3844	0,3941
0,30	0,0288	0,0559	0,0817	0,1060	0,1290	0,1714	0,2104	0,2435	0,2737	0,3009	0,3252	0,3470	0,3665	0,3839	0,3995	0,4134	0,4257	0,4368
0,34	0,0306	0,0596	0,0871	0,1133	0,1391	0,1839	0,2251	0,2621	0,2954	0,3252	0,3520	0,3761	0,3976	0,4169	0,4341	0,4495	0,4633	0,4756
0,38	0,0322	0,0628	0,0920	0,1197	0,1461	0,1949	0,2391	0,2789	0,3147	0,3470	0,3761	0,4022	0,4256	0,4466	0,4654	0,4823	0,4973	0,5108
0,42	0,0337	0,0657	0,0965	0,1254	0,1532	0,2048	0,2515	0,2938	0,3320	0,3665	0,3976	0,4256	0,4508	0,4734	0,4937	0,5119	0,5281	0,5427
0,46	0,0349	0,0683	0,1001	0,1315	0,1595	0,2135	0,2626	0,3071	0,3474	0,3839	0,4169	0,4466	0,4734	0,4975	0,5161	0,5325	0,5475	0,5612
0,50	0,0361	0,0705	0,1035	0,1350	0,1650	0,2212	0,2724	0,3189	0,3612	0,3995	0,4344	0,4654	0,4937	0,5191	0,5420	0,5626	0,5810	0,5975
0,54	0,0371	0,0725	0,1065	0,1389	0,1700	0,2281	0,2812	0,3295	0,3745	0,4134	0,4495	0,4823	0,5119	0,5385	0,5626	0,5842	0,6036	0,6209
0,58	0,0380	0,0743	0,1091	0,1425	0,1744	0,2343	0,2890	0,3389	0,3844	0,4257	0,4633	0,4973	0,5281	0,5559	0,5810	0,6036	0,6238	0,6420
0,62	0,0387	0,0759	0,1115	0,1456	0,1783	0,2397	0,2959	0,3472	0,3941	0,4368	0,4756	0,5108	0,5427	0,5715	0,5975	0,6209	0,6420	0,6609
0,66	0,0394	0,0773	0,1136	0,1484	0,1818	0,2445	0,3020	0,3547	0,4027	0,4466	0,4865	0,5227	0,5556	0,5854	0,6122	0,6364	0,6582	0,6778
0,70	0,0401	0,0788	0,1154	0,1509	0,1849	0,2488	0,3075	0,3612	0,4104	0,4553	0,4962	0,5334	0,5672	0,5977	0,6254	0,6503	0,6728	0,6929
0,74	0,0406	0,0796	0,1171	0,1531	0,1876	0,2526	0,3123	0,3671	0,4172	0,4630	0,5048	0,5429	0,5774	0,6087	0,6371	0,6627	0,6857	0,7064
0,78	0,0411	0,0806	0,1185	0,1550	0,1900	0,2559	0,3166	0,3723	0,4232	0,4699	0,5125	0,5513	0,5865	0,6185	0,6485	0,6756	0,6997	0,7184
0,82	0,0415	0,0814	0,1196	0,1567	0,1921	0,2589	0,3203	0,3778	0,4296	0,4770	0,5207	0,5607	0,5972	0,6315	0,6635	0,6934	0,7204	0,7451
0,86	0,0419	0,0822	0,1209	0,1582	0,1940	0,2615	0,3237	0,3828	0,4353	0,4833	0,5279	0,5689	0,6067	0,6415	0,6744	0,7054	0,7336	0,7591
0,90	0,0422	0,0828	0,1219	0,1595	0,1957	0,2638	0,3266	0,3864	0,4397	0,4886	0,5345	0,5771	0,6170	0,6544	0,6894	0,7224	0,7528	0,7804
0,94	0,0425	0,0834	0,1228	0,1607	0,1971	0,2658	0,3292	0,3895	0,4431	0,4920	0,5381	0,5817	0,6230	0,6624	0,6994	0,7344	0,7668	0,7964
0,98	0,0428	0,0840	0,1236	0,1617	0,1984	0,2676	0,3314	0,3921	0,4462	0,4953	0,5427	0,5877	0,6307	0,6718	0,7104	0,7474	0,7828	0,8164
1,00	0,0429	0,0842	0,1239	0,1623	0,1990	0,2684	0,3324	0,3934	0,4477	0,4970	0,5447	0,5907	0,6347	0,6764	0,7164	0,7548	0,7916	0,8268
1,10	0,0437	0,0858	0,1263	0,1654	0,2030	0,2740	0,3396	0,4011	0,4558	0,5070	0,5540	0,5989	0,6428	0,6847	0,7244	0,7628	0,7996	0,8348
1,20	0,0441	0,0866	0,1275	0,1669	0,2049	0,2767	0,3431	0,4053	0,4608	0,5127	0,5603	0,6059	0,6498	0,6917	0,7314	0,7698	0,8066	0,8418
1,30	0,0444	0,0871	0,1283	0,1680	0,2062	0,2785	0,3454	0,4087	0,4651	0,5177	0,5655	0,6113	0,6552	0,6971	0,7364	0,7748	0,8116	0,8478
1,40	0,0444	0,0872	0,1284	0,1682	0,2065	0,2789	0,3458	0,4097	0,4673	0,5207	0,5685	0,6145	0,6584	0,6994	0,7384	0,7768	0,8136	0,8498

Fonte: Bouwer in Mays, 1999

**Tabela 8.29- continuação- Valores de de  $\alpha$  e  $\beta$  conforme função de erro**

$\beta$	0,62	0,66	0,70	0,74	0,78	0,82	0,86	0,90	0,94	0,98	1,00	1,20	1,40	1,80	2,00	2,30	2,50	3,00
0,02	0,0387	0,0394	0,0401	0,0406	0,0411	0,0415	0,0419	0,0422	0,0425	0,0428	0,0429	0,0437	0,0441	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444	0,0444
0,04	0,0759	0,0773	0,0785	0,0796	0,0806	0,0814	0,0822	0,0828	0,0834	0,0838	0,0842	0,0858	0,0865	0,0871	0,0871	0,0872	0,0872	0,0872
0,06	0,1115	0,1136	0,1154	0,1171	0,1185	0,1198	0,1209	0,1219	0,1228	0,1236	0,1239	0,1263	0,1275	0,1283	0,1284	0,1284	0,1284	0,1284
0,08	0,1456	0,1484	0,1509	0,1531	0,1550	0,1567	0,1582	0,1595	0,1606	0,1617	0,1622	0,1654	0,1669	0,1680	0,1681	0,1682	0,1682	0,1682
0,10	0,1783	0,1818	0,1849	0,1876	0,1900	0,1921	0,1940	0,1957	0,1971	0,1984	0,1990	0,2020	0,2049	0,2062	0,2064	0,2065	0,2065	0,2065
0,14	0,2397	0,2445	0,2488	0,2526	0,2559	0,2589	0,2615	0,2638	0,2658	0,2676	0,2684	0,2740	0,2777	0,2785	0,2787	0,2788	0,2788	0,2788
0,18	0,2959	0,3020	0,3075	0,3123	0,3166	0,3203	0,3237	0,3266	0,3292	0,3314	0,3324	0,3396	0,3431	0,3454	0,3457	0,3454	0,3454	0,3454
0,22	0,3472	0,3547	0,3612	0,3671	0,3722	0,3768	0,3808	0,3844	0,3875	0,3902	0,3914	0,4001	0,4048	0,4071	0,4075	0,4076	0,4077	0,4077
0,26	0,3941	0,4027	0,4104	0,4172	0,4232	0,4286	0,4332	0,4374	0,4411	0,4442	0,4457	0,4558	0,4608	0,4641	0,4645	0,4646	0,4647	0,4647
0,30	0,4368	0,4466	0,4553	0,4620	0,4689	0,4760	0,4812	0,4860	0,4902	0,4938	0,4955	0,5070	0,5127	0,5165	0,5159	0,5171	0,5172	0,5172
0,34	0,4756	0,4865	0,4962	0,5048	0,5125	0,5192	0,5252	0,5305	0,5351	0,5392	0,5410	0,5540	0,5603	0,5645	0,5651	0,5652	0,5653	0,5654
0,38	0,5106	0,5227	0,5344	0,5459	0,5573	0,5687	0,5792	0,5892	0,5987	0,6077	0,6152	0,6297	0,6394	0,6486	0,6502	0,6504	0,6505	0,6505
0,42	0,5427	0,5556	0,5672	0,5775	0,5865	0,5946	0,6017	0,6080	0,6136	0,6184	0,6226	0,6386	0,6438	0,6489	0,6505	0,6507	0,6508	0,6508
0,46	0,5717	0,5854	0,5977	0,6087	0,6185	0,6272	0,6348	0,6416	0,6476	0,6528	0,6572	0,6749	0,6801	0,6856	0,6862	0,6863	0,6863	0,6863
0,50	0,5975	0,6122	0,6254	0,6371	0,6475	0,6567	0,6648	0,6721	0,6784	0,6840	0,6886	0,7074	0,7132	0,7190	0,7198	0,7200	0,7202	0,7202
0,54	0,6209	0,6364	0,6502	0,6627	0,6736	0,6831	0,6910	0,6986	0,7063	0,7132	0,7190	0,7379	0,7432	0,7494	0,7502	0,7505	0,7506	0,7506
0,58	0,6420	0,6582	0,6728	0,6857	0,6972	0,7074	0,7165	0,7245	0,7316	0,7378	0,7436	0,7626	0,7680	0,7749	0,7778	0,7781	0,7782	0,7782
0,62	0,6609	0,6778	0,6929	0,7064	0,7184	0,7291	0,7386	0,7469	0,7543	0,7608	0,7678	0,7870	0,7924	0,8001	0,8027	0,8030	0,8032	0,8032
0,66	0,6778	0,6953	0,7110	0,7250	0,7375	0,7486	0,7584	0,7671	0,7748	0,7816	0,7886	0,8080	0,8131	0,8223	0,8252	0,8255	0,8257	0,8257
0,70	0,6929	0,7110	0,7272	0,7417	0,7546	0,7660	0,7762	0,7852	0,7932	0,8002	0,8074	0,8270	0,8324	0,8415	0,8454	0,8458	0,8460	0,8460
0,74	0,7064	0,7250	0,7414	0,7566	0,7698	0,7816	0,7921	0,8014	0,8096	0,8168	0,8231	0,8430	0,8484	0,8577	0,8616	0,8620	0,8624	0,8624
0,78	0,7184	0,7375	0,7546	0,7698	0,7834	0,7956	0,8063	0,8159	0,8243	0,8317	0,8381	0,8580	0,8634	0,8727	0,8766	0,8770	0,8774	0,8774
0,82	0,7291	0,7486	0,7660	0,7816	0,7956	0,8080	0,8191	0,8288	0,8374	0,8450	0,8515	0,8710	0,8764	0,8857	0,8896	0,8900	0,8904	0,8904
0,86	0,7386	0,7584	0,7762	0,7921	0,8063	0,8190	0,8302	0,8402	0,8491	0,8569	0,8634	0,8830	0,8884	0,8977	0,9016	0,9020	0,9024	0,9024
0,90	0,7469	0,7671	0,7852	0,8014	0,8159	0,8288	0,8402	0,8504	0,8594	0,8674	0,8740	0,8930	0,8984	0,9077	0,9116	0,9120	0,9124	0,9124
0,94	0,7545	0,7748	0,7932	0,8096	0,8245	0,8374	0,8491	0,8594	0,8686	0,8767	0,8833	0,9020	0,9074	0,9167	0,9206	0,9210	0,9214	0,9214
0,98	0,7608	0,7816	0,8002	0,8168	0,8317	0,8450	0,8569	0,8674	0,8767	0,8849	0,8926	0,9110	0,9164	0,9257	0,9296	0,9300	0,9304	0,9304
1,00	0,7678	0,7886	0,8064	0,8229	0,8384	0,8521	0,8631	0,8710	0,8786	0,8866	0,8924	0,9100	0,9154	0,9247	0,9286	0,9290	0,9294	0,9294
1,20	0,7846	0,8064	0,8259	0,8434	0,8591	0,8731	0,8855	0,8964	0,9064	0,9151	0,9191	0,9472	0,9514	0,9607	0,9646	0,9650	0,9654	0,9654
1,40	0,7949	0,8171	0,8370	0,8549	0,8710	0,8853	0,8980	0,9094	0,9195	0,9284	0,9324	0,9614	0,9656	0,9749	0,9788	0,9792	0,9796	0,9796
1,80	0,8018	0,8249	0,8445	0,8627	0,8789	0,8935	0,9065	0,9180	0,9282	0,9373	0,9454	0,9749	0,9791	0,9884	0,9923	0,9927	0,9931	0,9931
2,00	0,8027	0,8255	0,8454	0,8636	0,8799	0,8945	0,9075	0,9191	0,9294	0,9384	0,9466	0,9762	0,9804	0,9897	0,9936	0,9940	0,9944	0,9944
2,30	0,8030	0,8255	0,8454	0,8636	0,8803	0,8949	0,9079	0,9195	0,9298	0,9389	0,9470	0,9766	0,9808	0,9901	0,9940	0,9944	0,9948	0,9948
2,50	0,8032	0,8255	0,8454	0,8636	0,8803	0,8949	0,9079	0,9195	0,9298	0,9389	0,9470	0,9766	0,9808	0,9901	0,9940	0,9944	0,9948	0,9948
3,00	0,8032	0,8255	0,8454	0,8636	0,8803	0,8949	0,9079	0,9195	0,9298	0,9389	0,9470	0,9766	0,9808	0,9901	0,9940	0,9944	0,9948	0,9948

Fonte: Bouwer in Mays, 1999

**Exemplo 8.1**

Seja um aquífero com espessura  $b=10,7m$  com condutividade hidráulica  $K= 107m/dia$  e porosidade efetiva  $S_y= 0,2$ .

Vamos aplicar sobre o mesmo um trincheira de exfiltração e queremos saber embaixo da mesma, como sobe o lençol freático, sabendo-se que o mesmo está a  $5,00m$  da superfície do solo.

O solo não saturado tem condutividade hidráulica  $K_t= 12m/dia$ .

Supomos que a trincheira está enterrada  $0,50$ . Isto é, sobre a mesma existe altura de solo local de  $0,50m$ .

Queremos infiltrar no aquífero  $207m^3/dia$  de água bombeada diretamente para um tubo perfurado que está no meio da trincheira.

Supomos que os agregados na trincheira tenham mais de  $2,5cm$  a  $7,5cm$  e que haja furo suficiente para a exfiltração das águas pluviais.

Supomos que a largura da trincheira  $W= 1,00m$  e que a profundidade da mesma  $H= 2,00m$

$$L = Q / [ Kt (W + H) ]$$

$$L = 207 / [ 12 (1 + 2) ] = 5,75m \quad \text{Adoto } L=6m$$

A taxa de infiltração será:

$$N = Q / (L \times W)$$

$L= 6m$

$$N = 207 / (6 \times 1) = 34,5 \text{ m/dia}$$

O parâmetro  $v$  será:

$$v = Kx b / Sy = 107 \times 10,7 / 0,2 = 5.724,5 \text{ m}^2/\text{dia}$$

$$b1 = 0,5 \times [h_i + h(t)]$$

Hantush, 1967 in Chin, 2000 obteve a seguinte equação:

$$h_m^2(t) = h_i^2 + (2N_x v x t / K) \times S^* (W / (8 v t)^{0,5}, L / (8 v t)^{0,5})$$

$$h_m^2(t) = 10,7^2 + (2 \times 34,5 \times 5725 \times t / 107) \times S^* (1 / (8 \times 5725 t)^{0,5}, 6 / (8 \times 5725 t)^{0,5})$$

$$h_m^2(t) = 114 + 3692 \times t \times S^* (0,00467 t^{0,5}, 0,028 / t^{0,5})$$

Para t= 1 dia teremos:

$$h_m^2(t) = 114 + 3692 \times 1 \text{ dia} \times S^* (0,00467 \times 1^{0,5}, 0,028 / 1^{0,5})$$

$$h_m^2(t) = 114 + 3692 \times 1 \text{ dia} \times S^* (0,00467, 0,028)$$

$$\alpha = 0,00467$$

$$\beta = 0,028$$

Entrando na Tabela (8.1) e (8.2) com os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  e fazendo as **interpolações** achamos o valor 0,00044

$$h_m^2(t) = 114 + 3692 \times 1 \text{ dia} \times 0,00044 = 114 + 1,6 = 115,6$$

$$h_m = 115,6^{0,5} = 10,8 \text{ m}$$

Portanto, o aquífero que tinha 10,7m passou para 10,8m, isto é, subiu 0,10m, que não apresenta perigo, pois, existe do fundo da trincheira até o nível do lençol freático a distância de 1,85m.

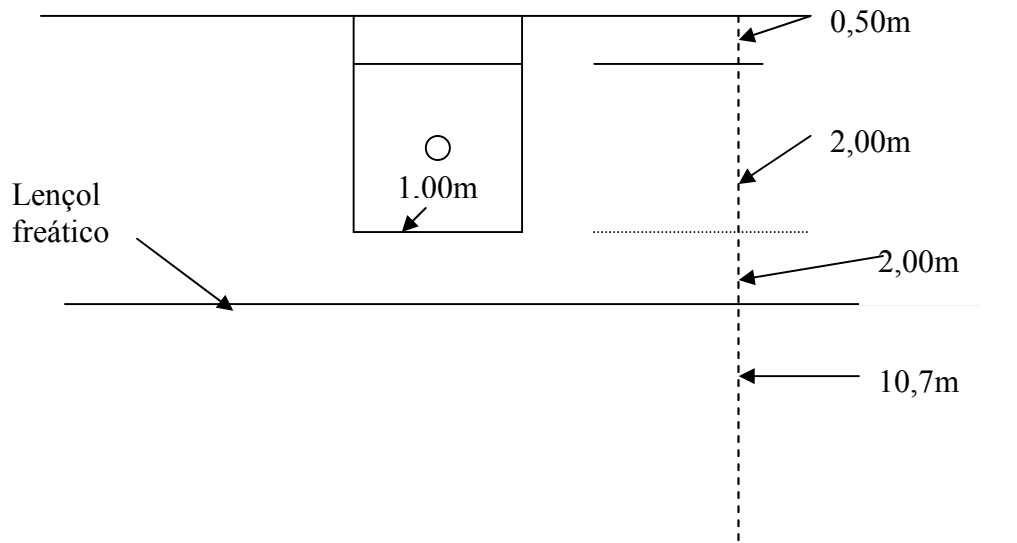
### Internet

Uma outra maneira é entrar na internet no site e calcular

<http://www.aqtesolv.com/forum/rmound.asp>

Achamos 10,8m

Poderemos também variar o tempo de 1 dia para 10 dias, 100dias, 1.000dias, 10.000dias, mas a altura de 10,80m permanecerá estável.



**Figura 8.3- Esquema para verificar o alçamento do lençol freático**

### Exemplo 8.2 Bom

Dimensionar um reservatório de infiltração on line com bacia de área de  $3.000\text{m}^2$  (0,3ha), com área impermeável do terreno  $AI=50\%$ ,  $K=13\text{mm/h}=0,30\text{m/dia}$ , porosidade efetiva igual a 0,1, tempo de concentração de  $t_c=10\text{min}$ , usando a equação de chuva de Natal, RN para  $T_r=5\text{anos}$  considerando a que o lençol freático está a 5,00 de profundidade e que a espessura do lençol freático é de 7,00m.

O reservatório foi dimensionado com volume  $25,2\text{m}^3$  e dimensões  $6,4\text{m} \times 12,8\text{m}$  com  $0,31\text{m}$  de profundidade.

Vamos considerar que a espessura do aquífero seja  **$b=7,00\text{m}$**  e  $K=0,30\text{m/dia}=13\text{mm/h}$  e porosidade efetiva  $S_y=0,10$ .

Queremos infiltrar em dois dias a altura de  $0,31\text{m}$ , que nos dará  $0,31/2=0,16\text{m/dia}$ , ou  $25,2/2=12,6\text{m}^3/\text{dia}$ .

Portanto:

$$Q=12,6\text{m}^3/\text{dia}$$

$$Kt=0,30\text{m/dia}$$

$$W=6,40\text{m (largura)}$$

$$L=12,8\text{m (comprimento)}$$

A taxa de infiltração será:

$$N=Q/(L \times W)$$

$$N=12,6/(12,8 \times 6,4)=0,15 \text{ m/dia}$$

O parâmetro  $v$  será:

$$v=K \times b / S_y=0,30 \times 7,0 / 0,1 = 21 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Hantush, 1967 in Chin, 2000 apresenta a equação:

$$h_m^2(t)=h_i^2 + (2Nxv \times t/K) \times S^* (W/(8vt))^{0,5}, L/(8vt)^{0,5}$$

$$h_m^2(t)=7^2 + (2 \times 0,15 \times 21 \times t/0,30) \times S^* (6,4/(8 \times 21t))^{0,5}, 12,8/(8 \times 21t)^{0,5}$$

$$h_m^2(t)=49 + 21 \times t \times S^* (0,49/t^{0,5}, 0,99/t^{0,5})$$

Para  **$t=2 \text{ dia}$**  teremos:

$$h_m^2(t)=49 + 21 \times 2\text{dia} \times S^* (0,49/t^{0,5}, 0,99/t^{0,5})$$

$$h_m^2(t)=49 + 42 \times S^* (0,49/2^{0,5}, 0,99/2^{0,5})$$

$$h_m^2(t)=49 + 42 \times S^* (0,28, 0,70)$$

$$\alpha=0,28$$

$$\beta=0,70$$

Entrando na Tabela (48.8) com os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  e fazendo as **interpolações** achamos o valor **0,43**.

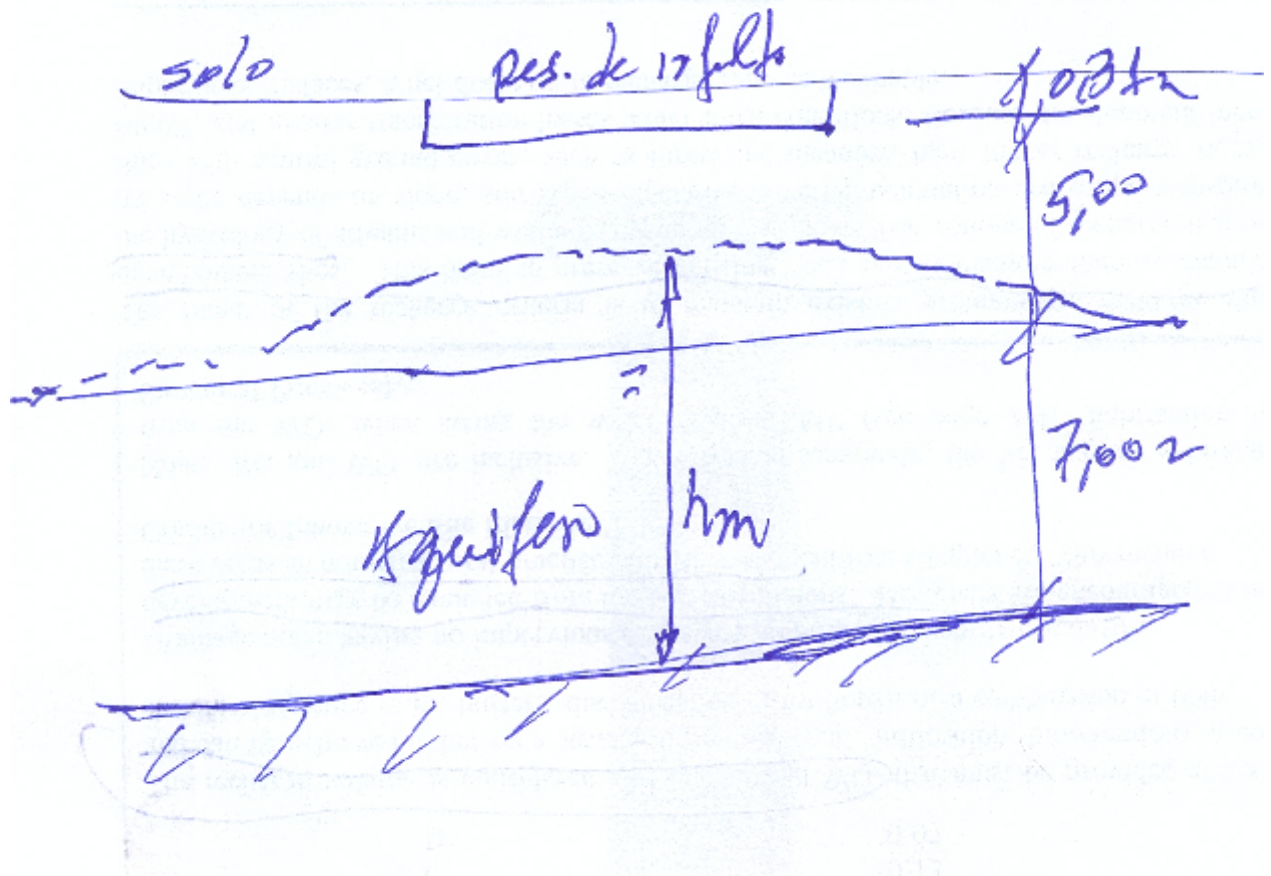
$$h_m^2(t)=49 + 42 \times 2\text{dia} \times 0,43=49+36,12=85,12\text{m}$$

$$\mathbf{hm=9,22m}$$

Portanto, a espessura do aquífero com a recarga será de  $9,22\text{m}$  e como antes a espessura era de  $7,00\text{m}$ , então houve alçamento do aquífero de  $2,22\text{m}$

Portanto, o aquífero que tinha  $7\text{m}$  passou para  $9,22\text{m}$ , isto é, subiu  $2,22\text{m}$ , que não apresenta perigo pois, existe do reservatório até o nível do lençol freático a distância de  $1,20\text{m}$ . Do exemplo podemos compreender a necessidade de que a distância do fundo do reservatório de infiltração até o lençol freático seja no mínimo  $1,20\text{m}$ .





### 8.3 Bibliografia e livros consultados

- CRITICAL AQUIFER RECHARGE AREAS (CARAS). *Chapter 6: Critical aquifer recharge áreas. Executive report- Best available science*, volume I, february, 2004.
- DELLEUR, JACQUES W. *The handbook of groundwater engineering*. 1999. ISBN 0-8493-2698-2.
- FENNESSEY, LARRY. *Hydrologic budgets for development scale áreas in Pennsylvania*.
- FENNESSEY, LAWRENCE A. J. et al. *The NRCS curve number, a new look at an old tool*. Villanova University, outubro de 2001.
- McCUEN, RICHARD H. *Hydrologic analysis and design*. 2a ed. Prentice Hall, 1998
- PLANO DIRETOR DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS DE NATAL, RN, 2009
- REICHARDT, KLAUS E TIMM, LUIZ CARLOS. *Solo, planta e atmosfera- conceitos, processos e aplicações*, 2004. Editora Manole.
- ZANGAR, CARL N. *Theory and problems of water percolation*. United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation. Denver, Colorado, abril de 1953, 87 páginas.