

Capítulo 86

Infiltração pelo Método de Horton

“O engenheiro após 10 anos de formado quer aprender filosofia”
Prof. dr. Kokei Uehara

SUMÁRIO

Ordem	Assunto
86.1	Introdução
86.2	Método de Horton

Capítulo 86- Infiltração pelo método de Horton

86.1 Introdução

Infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo (Tucci, 1993).

86.2 Método de Horton

O método mais conhecido para o cálculo da infiltração segundo (Akan,1993) é o método de Horton apresentado em 1939 e 1940.

Intuitivamente podemos dizer que a infiltração geralmente é maior no início e decai ao longo do processo até atingir um patamar constante. Horton,1939,1940 formulou tal hipótese através de uma relação exponencial válida quando o potencial de vazão de infiltração é maior ou igual a precipitação.

A relação proposta por Horton é a seguinte:

$$f_p = f_f + (f_0 - f_f) e^{-kt} \quad \text{(Equação 86.1)}$$

f_p = taxa de infiltração no tempo t (cm/h).

f_f = taxa de infiltração mínima (cm/h)

f_0 = taxa de infiltração inicial (cm/h)

k = constante da exponencial (/h) Nota: deve ser obtido experimentalmente

t = tempo médio do intervalo (h). Nota: a unidade de t deve ser compatível com a unidade de k

(Akan,1993) observa que em qualquer tempo t devemos ter:

$$f = i \quad \text{se} \quad f_p \geq i \quad \text{(Equação 86.2)}$$

$$f = f_p \quad \text{se} \quad f_p < i \quad \text{(Equação 86.3)}$$

Sendo:

f = a taxa de infiltração no tempo (cm/h)

i = a taxa de precipitação no tempo (cm/h)

A Equação (86.1) é dimensionalmente homogênea e a unidade k é o inverso da unidade do tempo t .

Os parâmetros f_f , f_0 , k devem ser obtidos em campo.

Para se obter em campo os parâmetros da fórmula de Horton deve ser usados o dispositivo chamado infiltrômetro. Comumente se usa o *infiltrômetro de duplo anel*.

Aconselha-se que seja feito um teste para cada 0,7km² ou seja 1 teste para cada 70ha (Drenagem Urbana, 3^a ed. 1986 Cetesb, p. 135).

(Wanielista, 1997 p.161) diz que o teste com infiltrômetro devem ser feito em área menor que 2.000m² e cuidados especiais devem ser feitos para que os mesmos sejam representativos.

O Manual de Drenagem Urbana de Denver recomenda em estudos preliminares que sejam usados as seguintes taxas de infiltração:

Tabela 86.1 Estimativa de taxas de infiltração para estudos preliminares, recomendado pelo manual de drenagem urbana de Denver.

Período de retorno da tormenta	Primeira meia hora	Segunda meia hora até o término da tormenta
2 a 5 anos	25,4mm/h	12,7mm/h
10 a 100 anos	12,7mm/h	12,7mm/h

Fonte: Drenagem Urbana, p. 135, 3^a ed., 1986, Cetesb

Rubem Porto no livro de Drenagem Urbana, 1995 recomenda as seguintes estimativas dos parâmetros de Horton e que constam do software denominado ABC4.

Tabela 86.2- Estimativa de parâmetros da fórmula de Horton

Parâmetros da fórmula de Horton	Classificação hidrológica do solo segundo o <i>Soil Conservation Service (SCS)</i>			
	Tipo A (mm/h)	Tipo B (mm/h)	Tipo C (mm/h)	Tipo D (mm/h)
f_0	250	200	130	80
f_r	25	13	7	3
k	2	2	2	2

Fonte: Porto, in Drenagem Urbana, 1995

Segundo (McCuen, 1997) o valor de f_0 é de 3 a 5 vezes o valor de f_r e cita ainda que os valores de k variam de 1/h até 20/h, enquanto que (Akan, 1993) cita que os valores de k variam de 0,67/h até 49/h sendo que na ausência de dados deve ser usado 4,14/h, conforme sugestão de (Hubber e Dickinson, 1988).

(Akan, 1993) recomenda que quando não se tem dados, pode-se estimá-los usando a Tabela (86.3) e Tabela (86.4).

Tabela 86.3- Estimativa da taxa de infiltração final de Horton segundo Akan, 1993

Tipo de solo	f_r (mm/h)
Solo argiloso com areia, silte e húmus	0 a 1,27mm/h
Solo arenoso argiloso	1,27mm/h a 3,81mm/h
Solo siltoso com areia, silte e húmus	3,81mm/h a 7,62mm/h
Solo arenoso	7,62mm/h a 11,43mm/h

Fonte: Akan, 1993 p.34

Exemplo 86.1

Para o piscinão do Pacaembu, Canholi adotou para a taxa de infiltração final o valor de 4,5mm/h, que seria classificado como solo siltoso com areia, silte e húmus segundo Akan,1993 na Tabela (86.3).

Quando não dispomos de dados experimentais, Akan,1993 aconselha a Tabela (86.4)

Tabela 86.4- Estimativa da taxa de infiltração inicial de Horton segundo Akan,1993

Tipo de solos	fo (mm/h)
Solo seco com pouca ou nenhuma vegetação	127mm/h
Mistura de solo com areia, silte, argila e húmus com pouca ou nenhuma vegetação	76,2mm/h
Solo argiloso seco com pouca ou nenhuma vegetação	25,4mm/h
Solo arenoso seco com vegetação densa	254mm/h
Solo seco, sendo mistura de solo com areia, silte, argila e húmus com vegetação densa	152,4mm/h
Solo argiloso seco com vegetação densa	50mm/h
Solo arenoso úmido com pouca ou nenhuma vegetação	43,18mm/h
Mistura de solo úmido com areia, silte, argila e húmus com pouca ou nenhuma vegetação	25,4mm/h
Solo argiloso úmido com pouca ou nenhuma vegetação	7,62mm/h
Solo arenoso úmido com pouca ou nenhuma vegetação	83,82mm/h
Mistura de solo úmido com areia, silte, argila e húmus com vegetação densa	50,8mm/h
Solo úmido argiloso com vegetação densa	17,78mm/h

Fonte: Akan, 1993 p. 34

Tabela 86.5- Ensaio dos parâmetros da fórmula de Horton feitos nos Estados Unidos em 1975 no distrito de Seminole no Estado da Flórida usando infiltrômetros de duplo anél

Local	Taxa de infiltração final f_r mm/h	Taxa de infiltração inicial f_0 mm/h	Constante da exponencial k /h	Permeabilidade do solo mm/h
Wimbledon Park	50,8	160,02	49,1	254mm/h a 508mm/h
	812,8	198,12	36,9	254mm/h a 508mm/h
	1524	330,2	48,8	254mm/h a 508mm/h
	736,6	330,2	25,1	254mm/h a 508mm/h
	1016	406,4	16,6	254mm/h a 508mm/h
	1397	492,76	15,4	254mm/h a 508mm/h
Cross-Creek (possui um pouco de matéria orgânica)	31,75	4,826	8	<254mm/h
	21,336	6,604	4,3	
	16,51	2,032	2,3	
	39,878	4,826	4,1	
	66,04	10,668	8,4	
	30,48	6,604	0,8	
	26,67	3,302	6	
Lake Nan	86,36	14,478	4	127mm/h a 254mm/h
	58,42	18,542	6	127mm/h a 254mm/h
	60,96	14,224	8,4	127mm/h a 254mm/h
	129,54	21,082	6,8	127mm/h a 254mm/h

Fonte: Wanielista et al., 1997.

Segundo (Wanielista, 1997) a permeabilidade do solo varia de 10^{-7} cm/s para solos argilosos até 10^{-2} cm/s para cascalhos.

A condutividade hidráulica pode variar da seguinte maneira Tabela (86.6).

Tabela 86.6- Faixa de condutividade hidráulica para sedimentos não consolidados

Material	Condutividade hidráulica (cm/s)
Argila	10^{-9} a 10^{-6}
Silte; silte arenosos; areia argilosa	10^{-6} a 10^{-4}
Areia siltosa; areia fina	10^{-5} a 10^{-3}
Areia bem distribuída	10^{-3} a 10^{-1}
Cascalho bem distribuído	10^{-2} a 1

Fonte: C. W. Fetter. Applied Hydrogeology, 3ª ed. 1994, p. 98.

Exercício 86.2

Na Tabela (86.7) apresentamos a planilha elaborada em Microsoft Excel com exemplo de (Akan,1993 p.35).

Os dados de entrada são os seguintes:

$$f_f = 0,5 \text{ cm/h}$$

$$f_0 = 3 \text{ cm/h}$$

$$k = 1,0/\text{h}$$

$$f_p = \text{taxa de infiltração no tempo } t \text{ (cm/h)}$$

$$f = \text{taxa de infiltração adotada (cm/h)}$$

$$i = \text{taxa de precipitação no tempo (cm/h)}$$

$$t_1 = \text{início do tempo em horas}$$

$$t_2 = \text{fim do tempo em horas}$$

$$t = \text{média do tempo } t_1 \text{ e } t_2 \text{ em horas}$$

O cálculo de f é decidido entre a taxa de precipitação i comparando com f_p usando a Equação (86.2) e Equação (86.3).

Dica: não esquecer a Equação (86.2) e Equação (86.3) relativas aos valores de f_p e de i .

Tabela 86.7- Cálculo da infiltração de água no solo usando o método de Horton, conforme exemplo fornecido por (Akan,1993, p.32)

Dado t_1 (h)	Dado t_2 (h)	Dado i (cm/h)	Média de t_1 e t_2 (h)	Taxa da fórmula f_p (cm/h)	Infiltração no solo método de Horton	
					f	$f \cdot 0,25h$
					(cm/h)	mm
0,00	0,25	2	0,125	2,71	2,00	5,00
0,25	0,50	2	0,375	2,22	2,00	5,00
0,50	0,75	3	0,625	1,84	1,84	4,60
0,75	1,00	3	0,875	1,54	1,54	3,86
1,00	1,25	1,5	1,125	1,31	1,31	3,28
1,25	1,50	1	1,375	1,13	1,13	2,50
					soma infiltração = 24,23mm	

Exemplo 86.3

Para o piscinão do Pacaembu, Canholi usou para a taxa inicial de infiltração no método de Horton o valor de 30mm/h que o classifica entre solo úmido arenoso e mistura de solo de areia, silte, argila e húmus, conforme Tabela (86.4).

Canholi adotou para o piscinão do Pacaembu os seguintes dados (Revista Engenharia n.º 500, 1994- Instituto de Engenharia de São Paulo, p.15) :

$$f_p = \text{taxa de infiltração no tempo } t \text{ (cm/h)}.$$

$$f_f = \text{taxa de infiltração mínima} = 4,5\text{mm/h}$$

$$f_0 = \text{taxa de infiltração inicial} = 30\text{mm/h}$$

$$k = \text{constante da exponencial (/h)}. \text{ Nota: não foi citado por Canholi}$$

Como não foi divulgado o coeficiente exponencial k , adotamos $k = 0,67/\text{h}$

Vamos fazer uma explicação de coluna por coluna da Tabela (86.8).

Coluna 1:

Trata-se da seqüência de 1 a 48 intervalos que temos de 2,5min.

Coluna 2:

É o início da contagem de tempo começando com 0 e com espaçamento de 2,5min

Coluna 3:

É o fim do intervalo de tempo, contado de 2,5min em 2,5min.

Coluna 4:

É o intervalo de tempo de 2,5min em horas, isto é,

$$2,5\text{min}/60\text{s} = 0,041666\text{h}$$

Coluna 5:

É a aplicação da Equação (86.1) fornece os valores de f_p

$$f_p = f_f + (f_0 - f_f) e^{-kt}$$
$$f_p = 4,5 + (30 - 4,5) e^{-0,67.t} = 4,5 + 25,5 / e^{0,67.t}$$

Temos, portanto f_p em função do tempo em horas conforme coluna 4 da Tabela (86.8). Aplicando-se então a Equação acima obtemos a coluna 5 em mm/h.

Coluna 6:

Usou-se a função **SE** da planilha Microsoft Excel para se obter a coluna 6:
 $=SE(4,5+25,5/e^{0,67 \cdot \text{coluna 4}} \geq \text{coluna 7}; \text{coluna 6} = \text{coluna 7}; \text{coluna 6} = \text{coluna 5})$

Obtemos assim a coluna 6.

Coluna 7:

É a intensidade de chuva no intervalo de tempo em mm/h.

Coluna 8

É a multiplicação da coluna 7 pelo intervalo de chuva em horas, isto é, 2,5min transformado em horas que é **0,041666h**.

Coluna 9:

É a chuva excedente, isto é, o escoamento superficial (runoff) que é fornecido pela diferença da precipitação (coluna 9) com a infiltração (coluna 8). O total da chuva excedente é **50,74mm**.

Coluna 10:

É a precipitação pela formula de Martinez e Magni, 1999 com intervalos de 2,5min e para período de retorno de 25anos. O total da chuva é de **85,10mm**.

Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais
Capítulo 86- Infiltração Método de Horton
Eng Plínio Tomaz 30/10/2010 pliniotomaz@uol.com.br

Tabela 86.8- Aplicação do método de Horton para cálculo da infiltração no solo do piscinão do Pacaembu

Coluna	Coluna	Coluna	Coluna	Coluna	Coluna	Coluna	Coluna	Coluna	Coluna
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ordem			Tempo	Horton	infiltração	Intensidade da	Infiltração	Chuva Excedente	Precipitação
	Do tempo	Para tempo	médio	fp	Decisão (SE)	i			
	(minutos)	(minuto)	hora	(mm/h)	f (mm/h)	mm/h	(mm)	(mm)	(mm)
1	0,0	2,5	0,021	29,65	29,65	61,27	1,24	1,32	2,55
2	2,5	5,0	0,063	28,95	28,95	61,27	1,21	1,35	2,55
3	5,0	7,5	0,104	28,28	28,28	73,53	1,18	1,89	3,06
4	7,5	10,0	0,146	27,63	27,63	73,53	1,15	1,91	3,06
5	10,0	12,5	0,188	26,99	26,99	124,59	1,12	4,07	5,19
6	12,5	15,0	0,229	26,37	26,37	124,59	1,10	4,09	5,19
7	15,0	17,5	0,271	25,77	25,77	155,22	1,07	5,39	6,47
8	17,5	20,0	0,313	25,18	25,18	155,22	1,05	5,42	6,47
9	20,0	22,5	0,354	24,61	24,61	106,20	1,03	3,40	4,43
10	22,5	25,0	0,396	24,06	24,06	106,20	1,00	3,42	4,43
11	25,0	27,5	0,438	23,52	23,52	106,20	0,98	3,45	4,43
12	27,5	30,0	0,479	23,00	23,00	106,20	0,96	3,47	4,43
13	30,0	32,5	0,521	22,49	22,49	67,40	0,94	1,87	2,81
14	32,5	35,0	0,563	21,99	21,99	65,36	0,92	1,81	2,72
15	35,0	37,5	0,604	21,51	21,51	53,40	0,90	1,32	2,21
16	37,5	40,0	0,646	21,04	21,04	51,06	0,88	1,25	2,13
17	40,0	42,5	0,688	20,59	20,59	44,93	0,86	1,01	1,87
18	42,5	45,0	0,729	20,14	20,14	42,89	0,84	0,95	1,79
19	45,0	47,5	0,771	19,71	19,71	28,59	0,82	0,37	1,19
20	47,5	50,0	0,813	19,30	19,30	26,59	0,80	0,39	1,19
21	50,0	52,5	0,854	18,89	18,89	28,59	0,79	0,40	1,19
22	52,5	55,0	0,896	18,49	18,49	28,59	0,77	0,42	1,19
23	55,0	57,5	0,938	18,11	18,11	26,55	0,75	0,35	1,11
24	57,5	60,0	0,979	17,73	17,73	24,51	0,74	0,28	1,02
25	60,0	62,5	1,021	17,37	17,37	24,51	0,72	0,30	1,02
26	62,5	65,0	1,063	17,01	17,01	24,51	0,71	0,31	1,02
27	65,0	67,5	1,104	16,67	16,67	22,47	0,69	0,24	0,94
28	67,5	70,0	1,146	16,33	16,33	22,47	0,68	0,26	0,94
29	70,0	72,5	1,188	16,01	16,01	16,34	0,67	0,01	0,68
30	72,5	75,0	1,229	15,69	15,69	16,34	0,65	0,03	0,68
31	75,0	77,5	1,271	15,38	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
32	77,5	80,0	1,313	15,08	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
33	80,0	82,5	1,354	14,79	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
34	82,5	85,0	1,396	14,51	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
35	85,0	87,5	1,438	14,23	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
36	87,5	90,0	1,479	13,97	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
37	90,0	92,5	1,521	13,70	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
38	92,5	95,0	1,563	13,45	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
39	95,0	97,5	1,604	13,20	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
40	97,5	100,0	1,646	12,97	12,25	12,25	0,51	0,00	0,51
41	100,0	102,5	1,688	12,73	8,17	8,17	0,34	0,00	0,34
42	102,5	105,0	1,729	12,51	8,17	8,17	0,34	0,00	0,34
43	105,0	107,5	1,771	12,29	8,17	8,17	0,34	0,00	0,34

Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais
Capítulo 86- Infiltração Método de Horton
Eng Plínio Tomaz 30/10/2010 pliniotomaz@uol.com.br

44	107,5	110,0	1,813	12,07	8,17	8,17	0,34	0,00	0,34
45	110,0	112,5	1,854	11,86	4,08	4,08	0,17	0,00	0,17
46	112,5	115,0	1,896	11,66	4,08	4,08	0,17	0,00	0,17
47	115,0	117,5	1,938	11,46	4,08	4,08	0,17	0,00	0,17
48	117,5	120,0	1,979	11,27	4,08	4,08	0,17	0,00	0,17
							34,36	50,74	85,10
							(Infiltração pelo	Chuva Excedente	2,55
							<i>método de Horton)</i>	<i>(mm)</i>	2,55

Fonte: aplicação do método de Horton baseado em Akan,1993

Nitro PDF Trial
www.nitropdf.com