

APROVEITAMENTO DE AGUA DA CHUVA ASSOCIADO À TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

Péricles Alves Medeiros¹; Ademar Cordero²; Mario Tachini³

RESUMO --- Atualmente a drenagem urbana não se restringe a simples implantação de canalizações, mas, principalmente, o controle da geração do escoamento superficial no próprio lote. O caso de uma trincheira de infiltração para uma residência de 100 m² é apresentado contemplando duas metodologias distintas. A primeira, já existente na literatura, considera a eliminação total do escoamento superficial. A segunda é um modelo matemático criado pelos autores deste trabalho. Esse modelo considera um aproveitamento da água de chuva recém implantado e sua correspondente trincheira de infiltração, como um conjunto único.

ABSTRACT --- Currently, the urban drainage does not restrict the simple implantation of canalizations but, mainly, the control of the runoff generation within the lot itself. The case of a trench of infiltration for a residence of 100 m² is presented contemplating two distinct methodologies. The first one, already existing in the literature, considers the total runoff elimination. The second is a mathematical model created by the authors of this work. This model considers a rain water exploitation just implanted and its corresponding trench of infiltration, as an only set.

Palavras-chave – Drenagem urbana, trincheira de infiltração, água da chuva.

¹ Professor da UFSC, CTC– ENS, Campus Trindade, Florianópolis-SC E-mail:pericles@ens.ufsc.br

² Professor da FURB, CCT– DEC, Rua São Paulo 3250, Itoupava Seca, 89030-000, Blumenau, SC. E-mail:cordero@furb.br

³ Professor da FURB, CCT– DEC, Rua São Paulo 3250, Itoupava Seca, 89030-000, Blumenau, SC. E-mail:mtachini@furb.br

1 INTRODUÇÃO

A concepção clássica da drenagem urbana considerava que os escoamentos pluviais dessas áreas deveriam ser desviados para certo ponto, recolhidos em canalizações e serem enviados para jusante. Além disso, essa tarefa deveria ser feita de maneira rápida. Assim, de montante para jusante, as vazões vão crescendo inevitavelmente. Com o crescimento urbano e sua crescente impermeabilização do solo, o problema foi de certa forma, sempre transferido para as áreas mais baixas. Assim, sempre serão necessárias novas obras de canalizações com custo crescente. Modernamente, o bom senso parece ter retornado e as comunidades descobriram o óbvio e o mais natural: “a chuva que cai em um ponto deve, de preferência, ali ficar e infiltrar-se no solo”. Para isso, foram desenvolvidas técnicas para promover o aumento da infiltração no solo e com isso diminuir o escoamento superficial e o custo das obras. Algumas Prefeituras Municipais já incorporaram esses novos procedimentos em leis, como por exemplo, São Paulo e Porto Alegre. Em resumo, essa legislação trata basicamente da manutenção, após uma determinada obra urbana, do escoamento superficial que havia anteriormente. O problema pode ser resolvido com o aumento da infiltração no solo ou reservatórios temporários. São as chamadas medidas de controle pluvial na fonte. Algumas delas estão descritas a seguir.

O modelo final adotado neste artigo é basicamente de um aproveitamento de água da chuva acoplado a uma trincheira de infiltração. O trabalho está no âmbito do projeto “ACHUVABLU”- Água de Chuva em Edificações de Blumenau e Região” aprovado pelo MCT/FINEP/ CT-Hidro - Processos Hidráulicos 02/2007, em andamento. Esse projeto é sequência de um projeto anterior que tratava da construção de uma “Casa Modelo” com materiais alternativos.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral é o estudo da diminuição do escoamento superficial de um lote urbano. Para isso, é apresentado um caso de trincheira de infiltração como controle da geração de escoamento na fonte. Como objetivos específicos, serão apresentados duas metodologias distintas. A primeira, considerando a eliminação total do escoamento superficial e uma segunda, considerando o dispositivo apenas recebendo os descartes de um projeto de aproveitamento de água de chuva já em funcionamento.

3 DISPOSITIVOS DE CONTROLE PLUVIAL NA FONTE

Existem várias maneiras de promover um aumento da infiltração em lotes urbanos. Os chamados dispositivos de controle pluvial na fonte são boas alternativas com um custo razoavelmente baixo. Basicamente são os seguintes: pavimento permeável, trincheira de infiltração, vala de infiltração, poço de infiltração, micro-reservatório e bacia de retenção. Dessa forma, o escoamento superficial é diminuído e, em certos casos, até totalmente eliminado já no próprio local onde é gerado.

3.1 Metodologia 1

Silveira & Goldenfum (2007) sistematizaram vários casos de dispositivos de controle pluvial na fonte. Os autores apresentam uma metodologia generalizada facilmente aplicável na prática. O método considera que todo o escoamento superficial gerado na área do lote seja anulado. Como se pode perceber é uma metodologia bastante radical. O citado artigo já apresenta resolvido o desenvolvimento matemático em equações diferenciais ficando, para o usuário, uma parte, de certa forma, mais fácil. Aqui será tratado apenas o caso da trincheira de infiltração em forma de paralelepípedo que talvez seja o de mais fácil aplicação. A seguir, um resumo dessa metodologia. O primeiro passo é a transformação da clássica equação de chuvas de Blumenau:

$$i = 673,3 T^{0,1728} / (t + 8,1)^{0,6649} \quad (1)$$

na formulação de Talbot (Azzout et al.,1994), que é pouco usada no Brasil:

$$i = 938,75 T^{0,1728} / (t + 21,54)^{1,00} \quad (2)$$

Assim, com o novo expoente 1,00 torna mais fácil explicitar o valor da duração t . Essa variável é necessária para o desenvolvimento matemático do método. A seguir, a curva de massa, no tempo, dos volumes afluentes ao dispositivo é comparada com a curva de massa dos volumes deles efluentes, e a máxima diferença entre as duas curvas é o volume de dimensionamento da trincheira. Para efeito de cálculo, os volumes podem ser expressos em lâminas de água equivalentes sobre a área em planta do dispositivo. A curva afluente é dada pela curva HDF (altura-duração-frequência das chuvas) afetada por coeficientes de escoamento e de relação entre áreas, enquanto que a curva efluente normalmente é uma reta, pois se admite, por simplicidade, uma vazão de saída

constante do dispositivo. Com a utilização da expressão de Talbot e outros procedimentos simplificadores, o método chega ao volume máximo de dimensionamento do dispositivo pela seguinte equação 3:

$$\partial V / \partial t = \partial (H_E - H_S) / \partial t = 0 \quad (3)$$

onde:

V = volume armazenado (mm)

H_E = lâmina de água de entrada acumulada medida sobre a área em planta do dispositivo (mm)

H_S = lâmina de saída acumulada também medida sobre a área em planta do dispositivo (mm).

As equações intermediárias do método para determinação de H_E e H_S , bem como outros desenvolvimentos não serão aqui apresentados. As equações finais desse método são:

$$H = \left[k_1 (k_2 - \sqrt{\eta}) / (n - k_2^2) \right]^2 \quad (4)$$

$$k_1 = (\sqrt{a/60}) (\sqrt{\beta}) T^{B/2} \quad (5)$$

$$k_2 = (\sqrt{c/60}) (\sqrt{\gamma}) (q.s) \quad (6)$$

$$\beta = c.a / bL \quad (7)$$

$$\gamma = 2.L / Lb = 2 / b \quad (8)$$

onde:

$V_{máx}$ = volume de dimensionamento (mm)

T = período de retorno (anos)

a, b, c = parâmetros da equação de chuvas intensas (adimensional), c / expressão de Talbot.

q_s = vazão de saída constante do dispositivo (mm/h). OBS: $q_s = \alpha K_{sat}$

α = coeficiente redutor devido à colmatação de fundo. OBS: $\alpha \approx 0,5$ (adimensional)

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada do solo (mm/h). OBS: $K_{sat} \approx f_c$

f_c = capacidade de infiltração constante obtida com infiltrômetro de anel duplo, em

campo, após 3, 4 ou mais horas de ensaio. (mm/h)

A = área contribuinte ao dispositivo (m^2)

c = coefic. de escoamento (do Método Racional) da área de contribuição (adimensional)

L, b, H = comprimento, largura e altura do dispositivo c/ forma de paralelepípedo (m)

η = porosidade do material de enchimento do dispositivo (adimensional)

H = profundidade média do volume de acumulação do dispositivo (mm)

γ = quociente entre área de percolação e volume do dispositivo (mm^{-1})

β = produto do coeficiente de escoamento pela razão entre área contribuinte e área do dispositivo (adimensional).

$q_{pré}$ = vazão de restrição ou de pré-dimensionamento, quando for o caso, (mm/h).

Assim, a incógnita principal a ser encontrada é o valor da altura H da trincheira.

A seguir, desenvolve-se o cálculo de uma trincheira de infiltração para a área da Casa Modelo do atual projeto FINEP. Primeiramente foram feitos em campo vários ensaios de capacidade de infiltração com o infiltrômetro de anel duplo (Figuras 1 e 3). Nesta pesquisa os pontos experimentais obtidos foram ajustados à equação de Horton (equação 9) por ser uma das mais simples:

$$f = f_c + (f_o - f_c) / e^{k t} \quad (9)$$

sendo:

f = capacidade de infiltração em um tempo qualquer (mm/h)

t = tempo considerado desde o início da infiltração (h)

f_o = capacidade de infiltração medida no início do ensaio (mm/h)

f_c = capacidade de infiltração constante, medida após 3 ou 4 horas de ensaio (mm/h)

k = coefic. que mostra o grau de concavidade da curva ajustada (h^{-1})

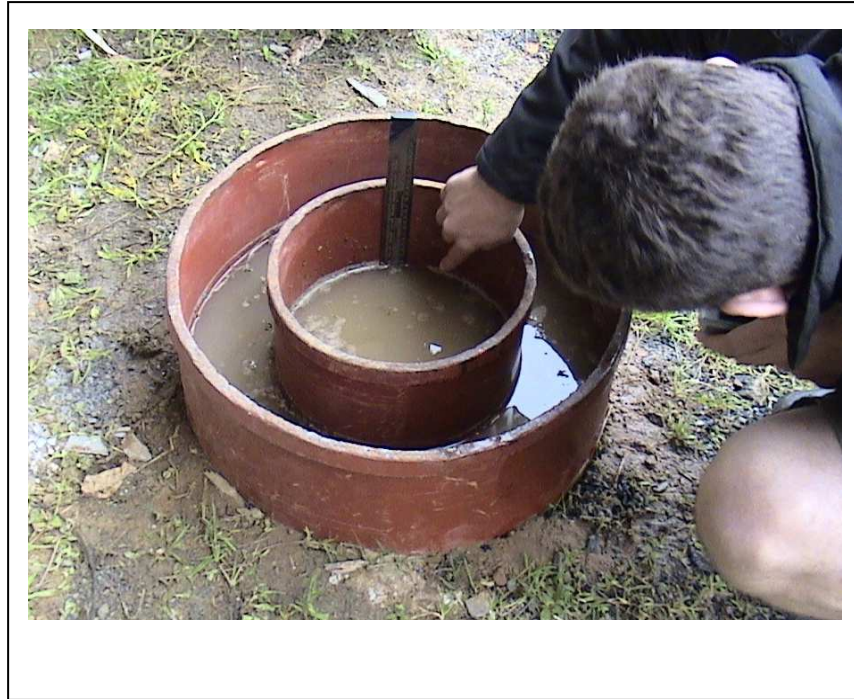
e = base do logaritmo neperiano (2,71828).

Integrando a equação 9, fica explícita a lâmina total infiltrada:

$$F = \int f dt = \int f_c + (f_o - f_c) / e^{k t} dt = (f_c \cdot t) + (f_o - f_c)(1 - e^{-k t}) / k \quad (10)$$

onde:

F é a lâmina infiltrada acumulada (mm) e, demais símbolos, já explicados.



Exemplo de cálculo de uma trincheira de infiltração, para a Casa Modelo:

Exemplo 1:

f_c = capacidade constante de infiltração = 1,5 mm/h (utilizando a média de 2 ensaios de infiltração no local)

A = área contribuinte ao dispositivo = 30 x 30 m = 900,00 m²

B = largura do dispositivo = 1000 mm ; L = comprimento do dispositivo = 20,00 m

a, b, c = 3093,18 ; 0,1728 ; 21,54 (da expressão de Talbot para Blumenau)

$\gamma = 2 L H / HLb = 2 / b = 2/1000 = 0,002 \text{ mm}^{-1}$

C = coeficiente de escoamento aproximado = 0,70 (adimensional)

$\beta = c A / bL = 0,7 \cdot 900,00 / 1,0 \cdot 20,0 = 31,5$

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada do solo (mm/h): $K_{sat} \approx f_c = 1,5 \text{ mm/h}$

α = coeficiente redutor devido à colmatagem de fundo: $\alpha = 0,5$ (adimensional)

q_s = vazão de saída constante do dispositivo (mm/h): $q_s = \alpha K_{sat} = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ mm/h}$

T = período de retorno adotado = 5 anos

η = porosidade da brita de enchimento $\approx 0,38$ (adimensional)

Aplicando nas equações 5 e 6, tem-se os valores de $k_1 = 46,31$ e $k_2 = 0,0232$. Os demais resultados são apresentados no item 4.

3.2 Metodologia 2

Aqui é apresentado um modelo matemático criado pelos autores deste trabalho. Como já foi dito, essa proposta considera, resumidamente, um conjunto único constituído de: captação pelo telhado, utilização dessa água e descarte dos excessos na trincheira. O esquema básico do modelo matemático está na Figura 2.

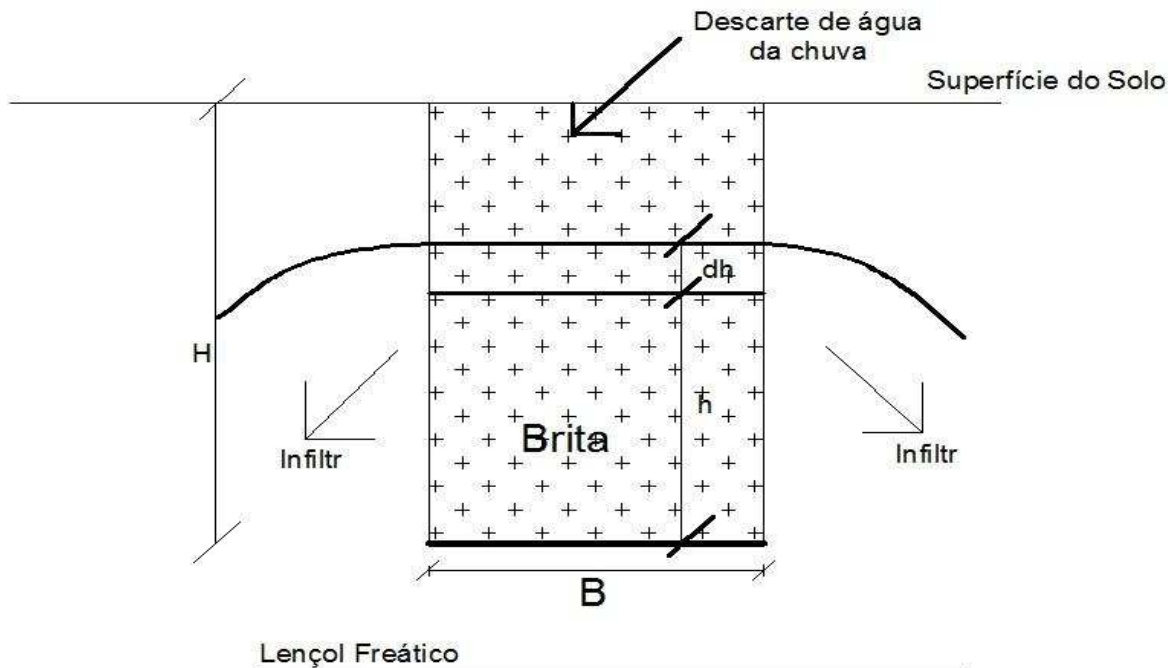


Figura 2 - Esquema básico do modelo matemático.

A única entrada de água considerada é a que vem do descarte do projeto de aproveitamento da água de chuva, ou seja, os excessos não aproveitados. Tanto pode ser uma primeira água de lavagem do telhado como extravasamentos do reservatório por excesso de chuvas. Dessa forma, a partir desse momento, a área de captação será apenas a área do telhado de 100 m². No fundo da trincheira, considera-se que existirá colmatção rápida e por isso, será considerada impermeável. Assim, o único efluente dessa trincheira será através das duas paredes laterais por infiltração. Este efluente será descrito pela conhecida equação de Horton já explicada. Seus 3 parâmetros foram obtidos através de vários ensaios com infiltrômetro de anel duplo já descrito anteriormente.

f_o = capacidade de infiltração no início do ensaio (mm/h) [**0,0855 m h⁻¹**]

f_c = capac. de infiltração constante, após 3 ou 4 horas de ensaio (mm/h) [**0,00073 m h⁻¹**]

k = coefic. que mostra o grau de concavidade da curva ajustada (**12,0 h⁻¹**)

e = base dos logaritmos neperianos (2,71828).

Integrando a já citada equação de Horton, explicita-se a lâmina total infiltrada:

$$F = \int f dt = \int f_c + (f_o - f_c) / e^{kt} dt = (f_c \cdot t) + (f_o - f_c) (1 - e^{-kt}) / k \quad (11)$$

onde:

F é a lâmina infiltrada acumulada (mm).

Medidas da trincheira em forma de paralelepípedo:

L = comprimento total em metros (bruto)

B = largura em metros (bruta)

H = altura total em metros (bruta)

h = altura bruta (inclui água e brita) (a altura líquida é : h / n)

n = porosidade medida da brita escolhida = $V_v / V_t = 0,42$ (adimensional)

V_v = volume de vazios

V_t = volume total da amostra

Equação de balanço de volume:

Observando a Figura, a idéia central aqui proposta é que quando a água infiltra um certo volume só de líquido (ΔV) pelas paredes, este deve ser igual ao volume líquido perdido dentro da trincheira através do rebaixamento do nível da água. Logo, temos:

$\Delta V = \Delta V$ (volumes “líquidos” ou seja, só de água)

$$n B L dh = (2 h L) [f_c + (f_o - f_c) / e^{kt}] dt \quad (12)$$

significando:

volume líquido = área bruta . velocidade “de Darcy” . tempo

Note-se que as alturas aqui são brutas mas os volumes são líquidos. Além disso, usou-se aqui o conceito utilizado na clássica equação de Darcy para água subterrânea, ou seja, através de uma área bruta (sólidos + vazios), flui uma velocidade virtual “de Darcy” que é inferior à velocidade real entre as partículas. Ao final, o que interessa é que a vazão líquida é a correta.

Separando as variáveis e integrando:

$$\int \frac{1}{2} n B \frac{dh}{h} = \int [f_c + (f_o - f_c) / e^{kt}] dt \quad (13)$$

onde: n, B, f_o, f_c, k parâmetros constantes adotados.

$$\frac{1}{2} n B [\ln h]_{h_i}^{h_f} = [(f_c \cdot t) + (f_o - f_c)(1 - e^{-kt}) / k]_{t_i}^{t_f} \quad (14)$$

$$- C_1 \ln (h_f/h_i) = f_c (t_f - t_i) + C_2 (1 / e^{kt_i} - 1 / e^{kt_f}) \quad (15)$$

Esta é a equação final encontrada.

OBS: dh/dt é negativo. Por isso, o sinal negativo no primeiro membro da equação.

sendo :

i = estado inicial (no tempo i em horas)

f = estado final (no tempo f em horas)

$C_1 = \frac{1}{2} n B$ (parâmetro fixo)

$C_2 = (f_o - f_c) / k$ (parâmetro fixo)

$n = 0,42$ (adimensional)

$B = 1,00$ m

$H = 1,25$ m

$L =$ livre, à escolher (aqui será 13,00 m)

$f_o = 0,085$ m/h (medido)

$f_c = 0,00073$ m/h (medido)

$k = 12$ h⁻¹ (medido)

$C_1 = 0,21$ m

$C_2 = 0,0070225$ m

OBS: recomenda-se muito cuidado nas unidades que devem ser totalmente coerentes.

O modelo foi aplicado considerando-se as precipitações diárias de Blumenau apenas do ano de 1996. O consumo médio de água da chuva na Casa Modelo foi estimado em 137 litros por dia. Os valores escolhidos de B, H e L foram, respectivamente, 1,00 ; 1,25 e 13,00 metros. Dessa forma, foi realizada uma simulação para o ano de 1996 considerando um reservatório de 5000 litros como mostra a Figura 4. A primeira água de lavagem do telhado bem como extravasamentos do reservatório é considerada “descarte”. Assim, chuvas intensas consecutivas certamente ocasionam

grandes descartes que devem ser absorvidos pela trincheira. Finalmente, um balanço hídrico é feito em nível diário. Os resultados são apresentados mais adiante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados da metodologia 1

A seguir apresentam-se os principais resultados obtidos. Os parâmetros de Horton estão na Tabela 1. Como exemplo, o ensaio de infiltração nº 10 é apresentado na Figura 3.

Tabela 1 - Resultados dos parâmetros de Horton medidos em campo.

Nº	Data	Local	fo	fc	k
01	10/08/10	Casa Modelo (sub-solo)	280,0	2,4	15,0
02	12/08/10	Casa Modelo (sub-solo)	280,0	0,4	15,0
03	18/08/10	Casa Modelo (estac.frente)	250,0	6,0	15,0
04	20/08/10	Casa Modelo (ao lado)	250,0	4,0	18,0
05	23/08/10	Casa abandonada	280,0	2,0	20,0
06	27/08/10	Bloco I (ao lado)	800,0	70,0	13,0
07	29/09/10	Casa Modelo (sub-solo)	290,0	8,0	13,0
08	08/10/10	Casa Modelo (sub-solo)	180,0	0,5	15,0
09	18/10/10	Casa Modelo (sub-solo)	290,0	3,0	15,0
10	22/10/10	Casa Modelo (sub-solo)	85,0	1,0	12,0

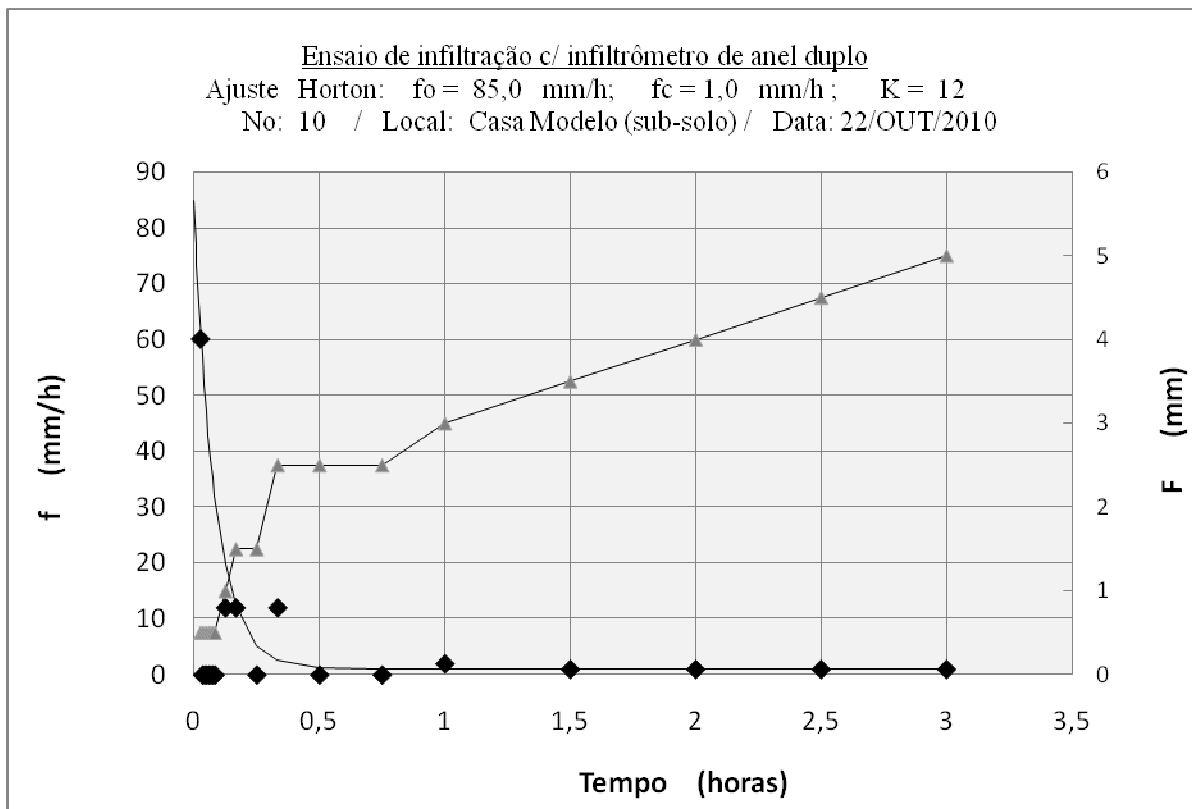


Figura 3 - Exemplo de um ensaio de infiltração realizado

Resultados do Exemplo 1 já detalhado anteriormente:

$$H = [46,31 (0,0232 - (0,38)^{0,5} / (0,38 - 0,0232^2))]^2 = 5241,7 \text{ mm} = \mathbf{5,24 \text{ m}}$$

Com esses primeiros dados hipotéticos e com esse baixíssimo valor da capacidade de infiltração constante f_c , torna-se impraticável esse dispositivo devido à excessiva altura de 5,24 m. O volume do dispositivo resulta, pois em : $B.L.H = 1,0 \cdot 20,0 \cdot 5,24 = 104,8 \text{ m}^3$, realmente inviável.

A seguir são apresentados os resultados de outras simulações na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados de várias simulações da metodologia 1.

Simulações de dimensionamento da trincheira (fundos da Casa Modelo), Set/2010 .									
Simulação	L	B	C	A	b	g	A	b	c
	(m)	(m)	(adim)	(m ²)					
1	25	1,3	0,57	450	7,89	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
2	25	1,3	0,57	500	8,77	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
3	25	1,3	0,57	550	9,65	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
4	25	1,3	0,57	600	10,52	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
5	25	1,3	0,57	650	11,40	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
6	25	1,3	0,57	700	12,28	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
7	25	1,3	0,57	750	13,15	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
8	25	1,3	0,57	800	14,03	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
9	25	1,3	0,57	850	14,91	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
10	25	1,3	0,57	900	15,78	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
11	25	1,3	0,57	950	16,66	0,001538	3093,18	0,1728	21,54
(cont.)									
Simulação	T	Ksat	qs	k ₁	k ₂	η	H	H	
	(anos)	(mm/h)	(mm/h)				(mm)	(m)	
1	5	1,5	0,75	23,18035	0,020353	0,42	1202,6	1,20	
2	5	1,5	0,75	24,43423	0,020353	0,42	1336,2	1,33	
3	5	1,5	0,75	25,62684	0,020353	0,42	1469,8	1,47	
4	5	1,5	0,75	26,76636	0,020353	0,42	1603,5	1,60	
5	5	1,5	0,75	27,85931	0,020353	0,42	1737,1	1,74	
6	5	1,5	0,75	28,91098	0,020353	0,42	1870,7	1,87	
7	5	1,5	0,75	29,9257	0,020353	0,42	2004,3	2,00	
8	5	1,5	0,75	30,90713	0,020353	0,42	2138,0	2,14	
9	5	1,5	0,75	31,85834	0,020353	0,42	2271,6	2,27	
10	5	1,5	0,75	32,78196	0,020353	0,42	2405,2	2,40	
11	5	1,5	0,75	33,68027	0,020353	0,42	2538,8	2,54	

Percebe-se que neste conjunto de 11 simulações a altura da trincheira (H) resultou em valores mais razoáveis do que o Exemplo 1. As alturas variaram de 1,20 à 2,53 m. Isso se deve a um aumento da área de captação da trincheira (25,0 m x 1,30 m), avaliação mais precisa do coeficiente de escoamento (0,57), uso de uma brita com porosidade maior (0,42). Para uma escolha final do valor de H será necessário o monitoramento do lençol freático através de poços de pequeno diâmetro (D = 0,15 m) realizados com uma cavadeira manual ou com piezômetros de 2 ou 2 ½ ” perfurados. Assim, a trincheira deve, em princípio, ficar acima do referido lençol freático.

No presente caso, encontraram-se algumas dificuldades na aplicação dessa primeira metodologia. A já comentada “Casa Modelo” foi construída anteriormente ao presente estudo e está exatamente sobre um brusco desnível do terreno disponível na época de sua construção. Como vantagem, ela ficou situada em um lugar com grande visibilidade atendendo a um dos objetivos

daquele projeto anterior, citado na Introdução, que era justamente mostrar ao público uma “Casa Modelo” construída com materiais alternativos, etc. Assim, parte da área está no nível térreo e uma parte maior em nível mais baixo como mostram as Figuras 4 e 5 mais ao final. Além disso, a capacidade de infiltração básica (f_c) medida resultou ser extremamente baixo devido a área ser usada como estacionamento de carros em solo descoberto. Tal fato acabou por compactando excessivamente o terreno. Dessa forma, a trincheira para funcionar na presente metodologia, teria que ter um volume muito grande sendo assim antieconômica. Por outro lado, a área do lote na FURB é muito extensa. Esse fato, aliado ao grande desnível do terreno, dificultou a identificação e separação de uma parte desse terreno que corresponderia a um lote normal para aquela residência.

Considerando o acima exposto, a seguir apresenta-se como alternativa uma segunda metodologia na qual a trincheira de infiltração recebe apenas os descartes do projeto de utilização da água da chuva. Assim, passou-se a considerar um conjunto único constituído de duas partes: captação da chuva e infiltração dos excessos não utilizados.

4.2 Resultados da metodologia 2

Inicialmente, informa-se que a equação final (15) pode, em certos casos, apresentar tempos negativos, pois depende se a trincheira está esvaziando ou enchendo e de como se faz a notação dos símbolos, etc. Matematicamente isso não é um problema. A rigor, o tempo de esvaziamento total da trincheira é uma assíntota ao infinito. Para contornar essa dificuldade, adotou-se que com uma altura de 0,01 m (1 cm) a trincheira estaria “vazia”. Assim, o tempo total para este “esvaziamento” fictício é cerca de 2 meses. Essa demora em esvaziar deve-se à baixíssima velocidade de infiltração final (adotou-se uma média de $f_c = 0,73$ mm/h). Note-se que a velocidade de infiltração inicial ($f_o = 85$ mm/h) até que é significativa mas, como o parâmetro k é igual à 12 (bem alto), a concavidade da curva de Horton grande. Em poucos minutos, essa capacidade (ou velocidade) de infiltração diminui drasticamente para próximo de $f_c = 0,73$ mm/h. Outro detalhe é que dh/dt é negativo. Por isso, o sinal negativo no primeiro membro da equação 15.

É interessante notar o que acontece desenvolvendo-se a equação final (15). Neste caso, substitui-se $C1$ e $C2$ pelos seus valores numéricos e substitui-se o incremento de tempo ($t_f - t_i$) por 24 horas. Assim, aparecerão denominadores próximos ao infinito e uma parcela tendendo à zero. Como condição inicial, no tempo zero considera-se a trincheira totalmente cheia e, além disso, recém enchida, significando que “ f ” é “ f_o ”. O resultado disso tudo é que o primeiro valor de “ h_f/h_i ” será igual à 0,889702. Nos demais Δt poder-se-ia refinar ainda mais esses conceitos considerando os casos de longos períodos com contínuo decréscimo da altura de água dentro da

trincheira. Haveria certamente uma recuperação da capacidade de infiltração, evaporação de parte da umidade, etc. No presente momento, isso ainda não será considerado, fazendo-se, portanto, uma simplificação adequada aos objetivos gerais do projeto. Assim, após o primeiro Δt , todos os valores de " h_f/h_i " serão considerados constantes e iguais à 0,919957. Assim, de posse dos valores de " h_i " e de " h_f/h_i " facilmente o valor de " h_f " é encontrado. Nesse solo, a infiltração pode ser considerada baixíssima, obrigando a construção de uma trincheira bastante grande para o caso. Uma simulação completa para 1996 foi realizada, mas aqui só será mostrado o mês de Janeiro desse ano (Tabela 3). Neste caso, considerou-se um consumo médio diário de água da chuva de 137 litros por dia.

Tabela 3 - Resultado da simulação com metodologia 2.

Dia	Chuva	h_i bruto	Vliq.	Desc.(liq)	h_f / h_i	h_f brut	Vinf liq.	Falhas
	(mm)	(m)	(m^3)	(m^3)	Adimensional	(m)	(m^3)	Adimensional
1	0	1,25	6,82	0	0,8897	1,1121	0,7527	NÃO
2	1,6	1,11	6,07	0	0,9199	1,0231	0,4860	NÃO
3	2,8	1,02	5,58	0	0,9199	0,9412	0,4471	NÃO
4	0	0,94	5,13	0	0,9199	0,8658	0,4113	NÃO
5	0	0,86	4,72	0	0,9199	0,7965	0,3784	NÃO
6	8,6	0,79	4,34	0,28	0,9199	0,7804	0,0877	NÃO
7	9,3	0,78	4,54	0,65	0,9199	0,8281	-0,2600	NÃO
8	0	0,83	5,45	0	0,9199	0,7618	0,3619	NÃO
9	7,8	0,76	5,09	0,39	0,9199	0,7664	-0,0249	NÃO
10	0,6	0,76	5,51	0	0,9199	0,7050	0,3349	NÃO
11	8,8	0,70	5,17	0,52	0,9199	0,7370	-0,1748	NÃO
12	0	0,74	5,87	0	0,9199	0,6780	0,3221	NÃO
13	0	0,68	5,55	0	0,9199	0,6238	0,2963	NÃO
14	0	0,62	5,25	0	0,9199	0,5738	0,2726	NÃO
15	10,3	0,57	4,98	0,33	0,9199	0,5831	-0,0504	NÃO
16	0	0,58	5,36	0	0,9199	0,5364	0,2548	NÃO
17	30,3	0,54	5,10	2,30	0,9199	0,8812	-1,8828	NÃO
18	4,6	0,88	9,29	0,25	0,9199	0,8535	0,1514	NÃO
19	2,3	0,85	9,39	0,058	0,9199	0,7950	0,3192	NÃO
20	0	0,79	9,13	0	0,9199	0,7314	0,3474	NÃO
21	0	0,73	8,78	0	0,9199	0,6728	0,3196	NÃO
22	26,2	0,67	8,47	1,81	0,9199	0,9250	-1,3765	NÃO
23	44,4	0,92	11,66	3,63	0,9199	1,46377	-2,9416	NÃO
24	0	1,46	18,24	0	0,9199	1,3466	0,6397	SIM
25	0	1,34	17,60	0	0,9199	1,2388	0,5885	SIM
26	6,6	1,23	17,01	0,15	0,9199	1,1649	0,4034	NÃO
27	9,6	1,16	16,76	0,68	0,9199	1,1860	-0,1155	NÃO
28	22	1,18	17,55	1,73	0,9199	1,3831	-1,0759	SIM
29	10	1,38	20,36	0,71	0,9199	1,3925	-0,0514	SIM
30	0	1,39	21,12	0	0,9199	1,2811	0,6086	SIM
31	11,4	1,28	20,51	0,69	0,9199	1,2956	-0,0794	SIM

Na tabela 3, os símbolos são:

- Dia : data
- Chuvas: precipitação diária em mm
- hi bruto: altura inicial bruta da água, incluindo os sólidos
- Vliq : volume líquido, ou seja, só de água
- Desc.(liq) : descarte de água proveniente do reservatório de 5000 litros
- hf / hi : relação entre altura bruta final e altura bruta inicial no final do Δt
- hf brut : altura final bruta da água, no fim do Δt , incluindo os sólidos
- Vinf liq : volume infiltrado pelas paredes laterais, só de água.
- Falhas: “SIM” significa que a altura bruta da água transbordou.

Apesar da simulação completa não ser aqui apresentada por falta de espaço, informa-se a eficiência global para o ano de 1996, anotando-se simplesmente o número de dias com “falha” (SIM ou NÃO na Tabela 3). Como falha considera-se que a trincheira transbordou. O resultado para 365 dias foi de 27 dias com falha. Assim, temos uma eficiência geral de 92,6 % considerada aceitável. À seguir, nas Figuras 4 e 5, está o projeto final como foi realmente executado. Nota-se que a trincheira acabou tomando, em planta, a forma de um “L” por questão de espaço.



Figura 4 - Vista geral do sub-solo da Casa Modelo na FURB.



Figura 5 - Vista geral do sub-solo da Casa Modelo - FURB.

5 CONCLUSÃO

Dentro do âmbito do projeto ACHUVABLU da FINEP, foram aqui apresentadas duas metodologias para o projeto de uma trincheira de infiltração. A primeira, já existente na literatura, considera que todo o escoamento superficial do lote deve ser absorvido pela trincheira e, a segunda, com um modelo matemático criado pelos autores, considera o aproveitamento de água da chuva e a correspondente trincheira como um todo. As soluções aqui apresentadas não são definitivas e poderão no futuro eventualmente receber melhorias.

AGRADECIMENTOS

Os autores deixam aqui seu grande agradecimento ao MCT e FINEP pelo apoio financeiro sem o qual essa pesquisa não poderia ter sido feita.

BIBLIOGRAFIA

AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F.N.; ALFAKIH, E., (1994). “*Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial: Choix, Conception, Réalisation et Entretien*”, LCPC, INSA Lyon, Certu, Agences de l’Eau, Lavoisier Technique et Documentation, Paris.

SILVEIRA, A.L.L.; GOLDENFUM, J.A. (2009). “*Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte*”. Revista ABRH, Vol 12, no.2, Abr/Jun 2007, pp.157-168.

BROGNOLI, F. F. (2005). “*Análise Experimental da Capacidade de Infiltração do Campus da UFSC através do Infiltrômetro de Duplo Anel*”. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Sanitaria e Ambiental; Universidade Federal de Santa Catarina. Orientador: Péricles Alves Medeiros.